

Análisis de vivienda del movimiento moderno desde la aplicación del estándar Passivhaus

Caso de estudio: La Casa Domínguez de Alejandro de la Sota

ALUMNA: Ogando Fernández, Andrea TUTOR: Víctor Manuel Hermo Sánchez

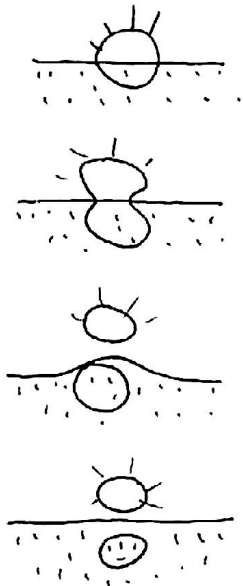
DNI alumna :
Curso: 2020/2021
Entrega: 07/10/2021
Referencia trabajo:

"Análisis de vivienda del movimiento moderno desde la aplicación del estándar Passivhaus."

"Nuestra arquitectura, entiendo, es reflejo y marco de la vida; es lo que somos y lo que queremos ser (...) Mantengan su ideal de honestidad tan alto como para no poder estar nunca completamente en condiciones de alcanzarlo"¹

¹ Alejandro de la Sota, "Alumnos de arquitectura" 1988 Tomado de: Sota, "Escritos" 2002 p.38

ÍNDICE



00 Resumen	P.01
01 Introducción: Arquitectura y sostenibilidad	P.02
01.1 · Estándar Passivhaus	P.04
02 Objetivos	P.07
03 Alejandro de la Sota y sostenibilidad	P.08
04 Casa Domínguez	P.11
04.1 · Localización	P.13
04.2 · Proyecto	P.17
04.3 · Análisis constructivo	
05 Aplicación del estándar Passivhaus	P.24
05.1 · Inserción de datos en DesignPH	P.26
05.2 · Inserción de datos en PHPP	P.30
06 Resultados del análisis	P.51
06.1 · Optimización energética	P.55
06.1 · Comparación de resultados tras la optimización	P.61
07 Conclusiones	P.65
07.1 · Cumplimiento de objetivos	P.69
08 Bibliografía	P.71
09 Anexo: entrevista a María del Carmen Lino	P.76

Resumen

Este trabajo de investigación tiene por objetivo realizar el análisis de una vivienda del movimiento moderno desde la perspectiva del estándar Passivhaus.

Se escoge como caso de estudio la Casa Domínguez de Alejandro de la Sota, por su camino en arquitectura hacia la racionalización técnica y su defensa de las nuevas tecnologías como medio capaz de resolver problemas y demandas sociales.

Se realiza un acercamiento a los principios del estándar Passivhaus para determinar qué parámetros de la edificación son relevantes para su estudio. Se estudia el proyecto desde los condicionantes iniciales, estrategia arquitectónica y soluciones constructivas más relevantes.

A partir de la obtención de los datos necesarios, se procede al análisis del balance energético de la vivienda. Se lleva a cabo mediante el modelado 3d con el plugin para Sketchup DesignPH y su posterior volcado de datos en PHPP. Una vez obtenidos los resultados, se analizan y se extraen las conclusiones del análisis de la vivienda desde la perspectiva Passivhaus.

Resumo

Este traballo de investigación ten por obxectivo realizar a análise dunha vivenda do movemento moderno desde a perspectiva do estándar Passivhaus.

Escóllese como caso de estudo a Casa Domínguez de Alejandro da Sota, polo seu camiño en arquitectura cara á racionalización técnica e o seu defensa das novas tecnoloxías como medio capaz de resolver problemas e demandas sociais.

Realízase un achegamento aos principios do estándar Passivhaus para determinar que parámetros da edificación son relevantes para o seu estudo. Estúdase o proxecto desde os condicionantes iniciais, estratexia arquitectónica e solucións construtivas máis relevantes.

A partir da obtención dos datos necesarios procédese á análise do balance enerxético da vivenda. Léevase a cabo mediante o modelado 3d co plugin para Sketchup DesignPH e o posterior volcado de datos en PHPP. Unha vez obtidos os resultados analízanse os mesmos e extraíense as conclusións da análise da vivenda desde a perspectiva Passivhaus.

Abstract

The aim of this research is to analyze a house of the modern movement from the perspective of the Passivhaus standard.

The Casa Domínguez de Alejandro de la Sota is chosen as a case study, for its path in architecture towards technical rationalization and its defense of new technologies as a means capable of solving problems and social demands.

An approach is made to the principles of the Passivhaus standard to determine which parameters of the building are relevant for its study.

After obtaining the necessary data, the energy balance of the house is analyzed according to the Passivhaus methodology. It is carried out by 3d modeling with the Sketchup DesignPH plugin and its subsequent data dump in the PHPP application. Once the results are obtained, they are analyzed and conclusions are drawn from the analysis of housing from the Passivhaus perspective

01. Introducción

Ante la grave situación en la que nos encontramos la sociedad en materia de conservación del medioambiente, empieza a crearse conciencia y reducir el consumo energético que proviene de fuentes no renovables se presenta -en todos los ámbitos de la actividad humana- como una necesidad de primer orden. Nuestra necesidad de consumo de energía no hace más que aumentar y necesitamos un modelo de desarrollo sostenible que sea capaz de satisfacer nuestras necesidades presentes sin condicionar la capacidad de desarrollo de futuras generaciones.

Nuestro actual modelo de desarrollo no será sostenible mientras continuemos basando nuestras necesidades en el consumo de combustibles fósiles finitos, un modelo de consumo que, a pesar de las graves consecuencias que conlleva, seguimos perpetuando desde hace más de doscientos años -con la llegada de la revolución industrial- que permitió el acceso indiscriminado a recursos naturales (carbón, petróleo, energía nuclear..)

Frente a esta situación, nuestro sector se encuentra entre los más contaminantes del planeta tanto por los recursos que consume como por los residuos que se generan en la construcción.

Según el Ministerio de Transición Ecológica en el año 2017 las emisiones directas generadas por la combustión de combustibles fósiles en el sector residencial, comercial e institucional supusieron un 8% del total de las emisiones del inventario de gases de efecto invernadero de España y el 14% de las emisiones totales en difusos. Donde el 61% se atribuye a consumo residencial y el 39% a comercial e institucional.¹

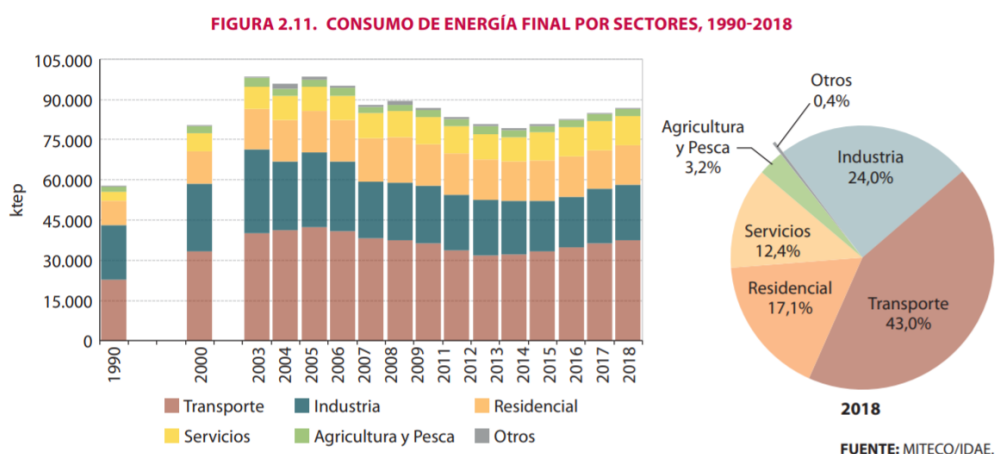


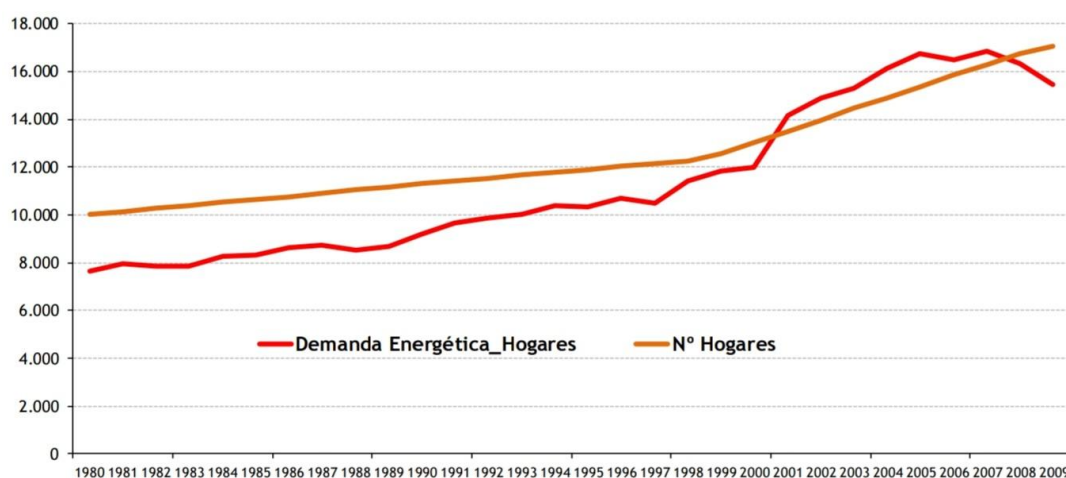
Fig 1 y 2: Consumo de energía por sectores 1990-2018. Fuente: Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico.

¹ Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico.
<https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/edificacion.aspx>

“El sector residencial es un sector clave en el contexto energético nacional y comunitario actual (.), que en términos de consumo total y de consumo eléctrico asciende respectivamente a un 17% y 25% a nivel nacional, y al 25% y 29% a nivel de la UE27.”²

El incremento de las viviendas, los hábitos de consumo, el equipamiento progresivo de los hogares, propiciado por el incremento de la capacidad de poder adquisitivo y la mejora del nivel de vida, hace prever que en el futuro la demanda energética del sector residencial seguirá creciendo como viene haciendo en los últimos años.³

Tendencias del Consumo Energético (ktep) del Sector Residencial en España



Fuente: IDAE

Fig 3: Tendencia del crecimiento de consumo de energía. Fuente: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía

“Pero no podemos conformarnos con edificar bajo nuevos criterios, ya que hay una gran masa de viviendas construidas entre los años 60 y 70 sin ningún tipo de control, donde más del 80% se encuentran entre las letras E y G del certificado de eficiencia energética, correspondiéndose la letra A como la mejor calificación mientras que la G se presenta como la más contaminante y con más pérdida energética”.⁴

Por ello, es ya urgente que se produzca un cambio en el proceso de producción arquitectónica que sea consciente, razonable y con criterios de sostenibilidad y no centrarnos solo en la investigación de nueva obra, sino también en mejorar la obra construída.

² IDAE, Secretaría General, Departamento de Planificación y Estudios, “Análisis del consumo energético del sector residencial en España. Informe final.” Ministerio de transición ecológica. 16 de julio de 2011.

³ Idem

⁴ Laura Delle Femmine, “¿Cuánto contamina tu casa?” El País (Madrid), 26 de noviembre de 2016.

01.1 Estándar Passivhaus

Haciendo frente a esta situación, surge en 1988 en Alemania un grupo de científicos, ingenieros y arquitectos que bajo la dirección de Wolfgang Feist comienzan una investigación y desarrollan un método para empezar a construir las primeras casas con una elevada reducción de consumo energético y con criterios de confort a los que estamos acostumbrados. Nace así en 1996 el Passivhaus Institute como un estudio de investigación independiente.

Fig 4: Primer edificio de viviendas construido por Passivhaus Institute. Fuente: Passivhaus Institute



Passivhaus es un estándar de construcción abierto para todos que ha demostrado en la práctica: confort, asequibilidad, sostenibilidad, durabilidad y alta eficiencia energética. Es el estándar líder en ahorro energético en edificios en todo el mundo, por lo general el ahorro varía en un 75-90% en comparación con los edificios existentes y a las normas de construcción. Los edificios son monitorizados en detalle y consiguen demostrar, después de ser construidos, que las condiciones se cumplen exactamente como en las simulaciones previas.



Fig 5: Logo del Instituto Passivhaus.
Fuente: Passivhaus Institute.

Una edificación Passivhaus se caracteriza por las siguientes cualidades:

- Alto valor de protección ante el calor. Usando espesores de aislamiento de entre 25-30 cm, su envolvente no supera valores de $U \leq 0,15 \text{ W(m}^2\text{k)}$
- Acristalamiento con triple vidrio libre de puentes térmicos. Los acristalamientos de gran tamaño en el lado sur para que la radiación solar contribuya a la reducción de la demanda de calefacción con su correspondiente protección solar colocada en el exterior para minimizar su carga solar en verano.
- La envolvente térmica del edificio está rodeada por una envolvente hermética, probada mediante un test de hermeticidad.
- Sistema de ventilación mecánica con recuperación de calor n de un 75% para garantizar la eficiencia y confort de la estancia.

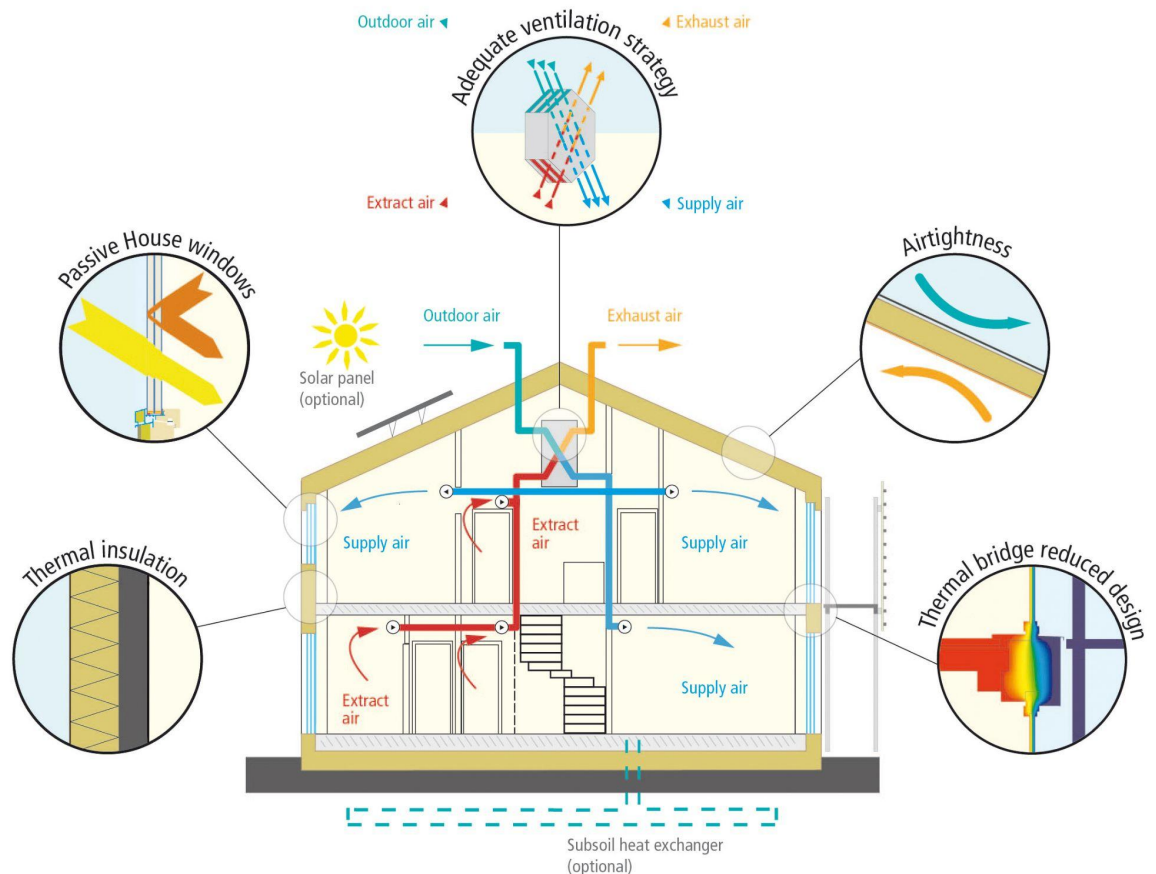


Fig 6: Los 5 principios de la certificación Passivhaus. Fuente: Passivhaus Institute.

Además, en el mercado inmobiliario, para establecer el valor de la edificación, la baja demanda energética es un punto clave a la hora de invertir en un inmueble o comprar una vivienda. Y es en este punto donde el estándar cobra su mayor sentido ya que no cualquier institución posee una forma de asegurar la baja demanda energética, mientras que el estándar Passiv determina de forma muy precisa la futura demanda.

Pero como se comentaba anteriormente, es importante no sólo implementar este estándar en obra nueva: España posee 3,5 millones de viviendas vacías⁵, es por esto que conseguir aplicar el Estándar a viviendas existentes es una forma más de contribuir a la sostenibilidad del sector evitando el impacto de la energía implementada en la demolición y la posterior gestión de los residuos generados.

Por estos motivos, en este trabajo pondremos a prueba el estándar Passivhaus al implementarlo en una vivienda del siglo pasado, en concreto una vivienda del movimiento moderno diseñada por el arquitecto Alejandro de la Sota, con el fin de determinar si el estándar puede reducir la demanda de calefacción en edificaciones antiguas en un 90% como afirman ya muchos autores.

⁵ Nota de prensa Instituto nacional de estadística (INE) 18 de abril de 2013 Censos de Población y Viviendas 2011 Edificios y viviendas. Datos provisionales
<https://www.ine.es/prensa/np775.pdf>

02. Objetivo general

- Realizar un análisis de la Casa Domínguez de Alejandro de la Sota desde la perspectiva Passivhaus.

Objetivos específicos

- Interpretar la obra escrita de Sota, con el fin de sacar conclusiones acerca de su posible relación con la sostenibilidad.
- Comprender la idea y construcción de la Casa Domínguez y analizar si fue construida con algún criterio sostenible.
- Dominio de la metodología de certificación del estándar Passivhaus.
- Identificar los datos necesarios para obtener el balance energético de dicha tecnología.
- Obtener el balance energético de la Casa Domínguez.
- Extraer las correspondientes conclusiones de dicho análisis.
- Realizar ajustes en la construcción de la vivienda de cara a mejorar su balance energético.

0.3 Alejandro de la Sota

Y SOSTENIBILIDAD



Fig 7: Alejandro con sus muebles. Fuente: Fundación Alejandro de la Sota

Alejandro de la Sota nació el 20 de octubre del 1913 en Pontevedra, en 1941 se licencia en la ETSAM, compartiendo escuela y años de oficio con José Antonio Cordech, Sáenz de Oiza, José Antonio Corrales y Vázquez Molezum. En 1965 se convierte en Doctor y trabaja como docente en la ETSAM durante doce años.

Durante su carrera como arquitecto y docente impartió clases y conferencias en importantes escuelas de arquitectura nacionales y extranjeras. Obtuvo numerosos premios y distinciones en concursos de arquitectura y su obra ha sido expuesta y divulgada hasta la actualidad.⁶

Dedica gran parte de su obra y discursos a la defensa de la herencia racionalista de los grandes maestros del siglo xx: Le Corbusier, Mies... El debate arquitectónico del momento planteaba si se debería frenar el avance de la tecnología para recuperar la arquitectura con todo su valor y sembraba la desconfianza ante la industrialización y racionalización de la arquitectura. Mientras, Sota defendía que el racionalismo había llegado a la arquitectura para quedarse ya que se trataba de una necesidad social para poder construir mejor y de forma más inteligente.

⁶ José Benito Rodríguez Cheda "Alejandro de la Sota. Construcción, idea y arquitectura.(Madrid: COAG, 1994) p:19-25

"Para que un cambio tenga lugar es necesario un conjunto de condiciones que tienen necesariamente que ocurrir puntualmente. En arquitectura existió en los años 20."⁷

Reclamaba a través de sus escritos y conferencias -con cierto tono reivindicativo- que deberíamos usar la tecnología a nuestro favor, servirnos de ella para mejorar nuestra arquitectura y no limitarnos a pensar que nos ha superado.

"Jamás el hombre puede ser víctima de su propia creación inteligente (...) ¿temor a la tecnología? ¡El hombre víctima de las máquinas que inventa! Éstas sí que son maquinaciones de mentes gastadas"⁸

Jamás las máquinas van a adquirir la inteligencia e intuición del hombre -decía- , sirvámonos de ellas y de los nuevos materiales para enriquecer la arquitectura y dar respuesta a las nuevas demandas sociales. Y su obra es el mejor ejemplo del sentido que cobra la arquitectura al juntar una buena idea, sensibilidad social y estética con la última tecnología, nuevos materiales y métodos constructivos.⁹

Conseguía esta fuerza proyectando la arquitectura con un método que él llamaba hacer "arquitectura lógica"¹⁰ mediante el cual analiza las variables sociales, constructivas, paisajísticas, funcionales.. que conforman el problema a resolver del proyecto y reflexiona acerca de todas las posibilidades materiales y constructivas de solucionar ese problema hasta dar con una única forma de resolverlo, es ahí -decía- cuando empieza su seriedad¹¹ (pag 47 escrito).

Se trata de una forma analítica de hacer arquitectura, pensada para resolver problemas sirviéndose de los medios técnicos de su época, usando los materiales adecuados, intuición social y estética. De tal forma que el proceso de proyectar no mira sólo al programa y al lugar sino que, tiene en cuenta la materialidad y construcción como parte inicial del proceso arquitectónico, no como un trámite para resolver una idea previa; podríamos decir que practica una racionalización técnica, lo que tiene por consecuencia una buena gestión de los materiales y los recursos. Se trata de una reflexión completamente adelantada al contexto social que vive y podemos entrever un camino hacia la sostenibilidad.

⁷ Alejandro de la Sota, "Por una arquitectura lógica," 1982 Tomado de: Moisés Puente (ed) Alejandro de la Sota "Escritos, conversaciones, conferencias" (Barcelona: Fundación Alejandro de la Sota , Gustavo Gili, 2002) p.70

⁸ Alejandro de la Sota, "Tema universal hoy: arquitectura y tecnología" 1961. Tomado de: Sota, "Escritos" 2002 p.42

⁹ Alejandro de la Sota, "Mensaje a los recién titulados" 1968. Tomado de: Sota, "Escritos" 2002 p.48

¹⁰ Alejandro de la Sota, "Por una arquitectura lógica," 1968 Tomado de: Sota, "Escritos" 2002 p.70

¹¹ Alejandro de la Sota, "Sentimiento arquitectónico de la prefabricación," 1968 Tomado de: Sota, "Escritos" 2002 p.47

En resumen, si extrapolamos su discurso al contexto social actual, podemos adivinar que seguramente dedicaría sus escritos a reclamar el cambio hacia una construcción sostenible. Ya que, basándonos en sus reflexiones:

- Reclamaba la 'obligación' como arquitectos de proyectar la arquitectura en función a un análisis de las necesidades de la sociedad. (REF 1)¹²
- Hace una arquitectura analítica pensada para resolver problemas, sirviéndose de los adelantos técnicos de nuestra época. (REF 2)¹³
- Defendía el pensamiento constructivo como parte del análisis arquitectónico previo a la resolución del proyecto. Método que podríamos equiparar al modo de proyectar con el estándar Passivhaus. (REF 3)¹⁴

Es decir, tenemos una necesidad como sociedad -el consumo de energía- y poseemos los medios técnicos para poder paliar ese problema -la construcción sostenible-, podríamos intuir que según el planteamiento de Alejandro de la Sota debería ser nuestro deber como arquitectos embarcarnos en este cambio para conseguir que el hombre viva mejor.

"Nuestra arquitectura, entiendo, es reflejo y marco de la vida; es lo que somos y lo que queremos ser (...) Mantengan su ideal de honestidad tan alto como para no poder estar nunca completamente en condiciones de alcanzarlo"¹⁵

¹² REF 1. "Resulta que el arquitecto hoy, creo que siempre, es una persona que tiene capacidad para plantear un problema ante una 'necesidad' de la sociedad"

Alejandro de la Sota "Recuerdos y experiencias". Tomado de: A. De la Sota. "Alejandro de la Sota, Arquitecto". (2ª ed. Madrid: Pronaos, 1997). pp.13-19

¹³ REF 2. "Hay un programa de necesidades que es el que nos dan. Eso hay que cumplirlo porque son necesidades primarias. Pero hay otra serie de necesidades que ni el que encarga ha pensado en ellas y creo que son fundamentales"

Alejandro de la Sota, "Conferencia en León y Zaragoza" 1988 Tomado de: Sota, "Escritos" 2002 p.187

¹⁴ REF 3. "Los procedimientos constructivos son hoy nuevos; tenemos que incorporarlos a nuestros pensamientos previos a los proyectos"

Alejandro de la Sota "Edificio de Correos y Telecomunicaciones, León". 1981. Arquitectura, 33. (1981): p. 52.

¹⁵ Alejandro de la Sota, "Alumnos de arquitectura" 1988 Tomado de: Sota, "Escritos" 2002 p.38

0.4.1 Localización



Fig 8. Localización de Pontevedra. Mapa de España. Fuente: La Gistería, con edición propia

La casa Domínguez está localizada en Galicia, al noroeste de España, en la provincia de Pontevedra y más concretamente en una urbanización llamada La Caeira, un barrio residencial -mayormente de chalets- que pertenece al ayuntamiento de San Salvador de Poio, aunque está normalmente asociado a la ciudad de Pontevedra a la que tiene vistas.

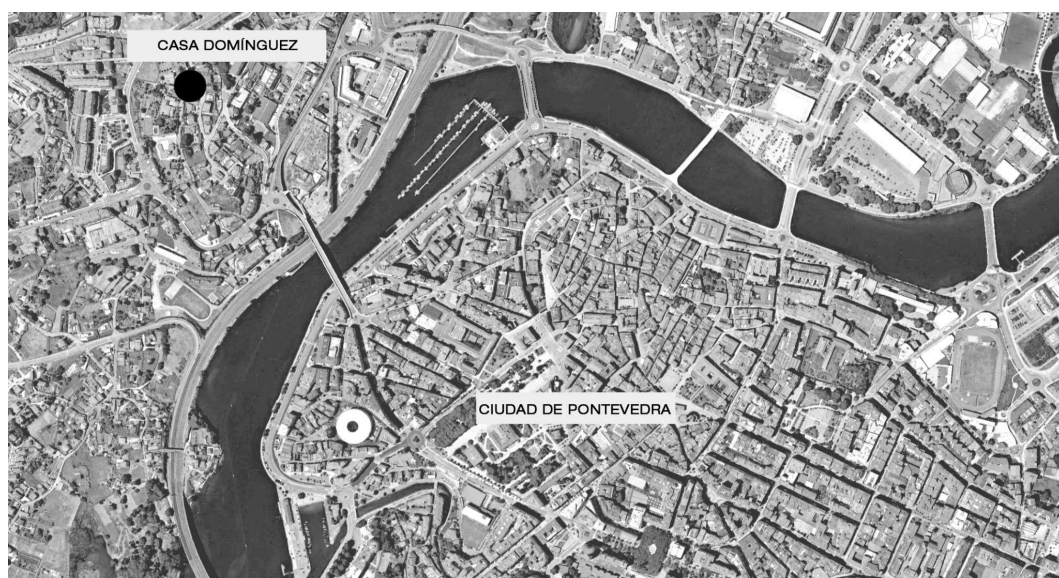


Fig 9. Ortofoto Pontevedra. Fuente: Google Earth, edición propia.

La Caeira, en el 1973 -cuando se encarga el proyecto- aún era una finca de un gran valor paisajístico antes de ser masivamente urbanizada -fruto de la especulación inmobiliaria- y aunque algunos puntos aún conservan las vistas privilegiadas a la ría y la ciudad de Pontevedra, es difícil imaginarse el paisaje de la parcela en el momento de su construcción.



Fig 10. Vistas desde la Casa Domínguez a la ciudad de Pontevedra. Fuente: Google Earth, edición propia

0.4 La Casa Domínguez

0.4.2 Proyecto

La casa para el Sr Domínguez en la Caeira, Pontevedra, es una de sus obras que mejor nos hace entender el vínculo entre idea y construcción que se comentaba anteriormente..



Fig 11: Alejandro con sus muebles. Fuente: Fundación Alejandro de la Sota

“El Habitáculo del hombre puede ser representado por una esfera cortada por el plano de tierra. La semiesfera enterrada se usará para el descanso, inactividad, reposición de fuerzas y del pensamiento; la semiesfera por encima del plano 0, será donde el hombre desarrolla su actividad, donde desarrolla lo pensado. De materiales pétreos, terrosos, la primera; transparente de cristal, la segunda.”¹⁶

El Sr Domínguez encargó en 1973 el proyecto de construcción de la Casa Domínguez al arquitecto Alejandro de la Sota -que era el primo de su mujer y muy cercano a su familia- en la Caeira, una urbanización cercana a la ciudad de Pontevedra y con vistas a la ciudad y la ría.

El matrimonio Domínguez comenta que confiaban plenamente en Alejandro, dándole total libertad para plantear lo que él estimase oportuno, solamente, hablando del programa de la casa, le pidieron la necesidad de convivir cómodamente con su numerosa familia de 9 hijos más el servicio, lo que en su antigua vivienda comenzaba a resultarles complicado.

¹⁶ Revista Arquitectura N° 228 Enero-Febrero 1981 p.58-59

“Se quiere insistir una vez más en que no hay obra sin idea, y que idea y obra son simultáneas para que aparezca esa arquitectura que no se sabe si es catalogable, explicable, culta, formante de escuela determinada.”¹⁷

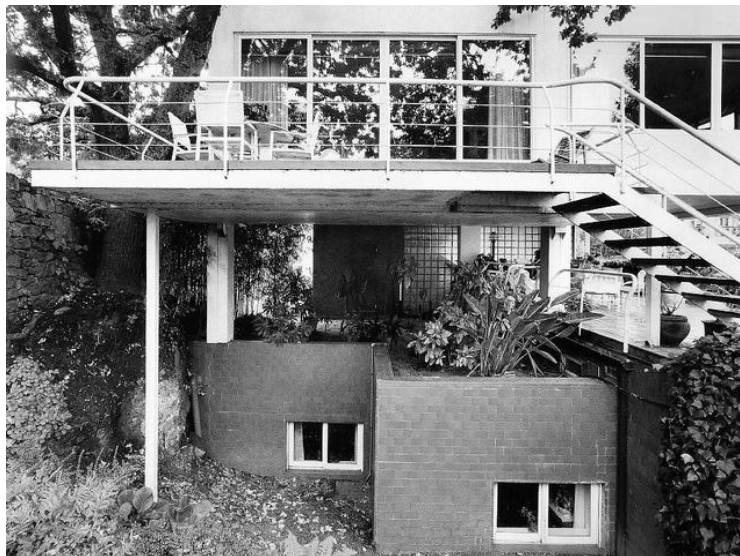


Fig 12: Casa Domínguez. Fuente:
Fundación Alejandro de la Sota

En cuanto a la idea del proyecto se trata de una síntesis ejemplar entre la experiencia de vivir y la acción de construir. Es por esta idea que la para la zona de descanso, el estrato semienterrado de la casa, se proyecta un volumen rotundo, de materiales pétreos, forrado con plaqueta de gres para hacerlo desaparecer con el terreno, con luz indirecta, silencioso, ya que el terreno absorbe el ruido de la calle y compartimentado, para permitir un poco de intimidad. Mientras que para el volumen superior, se trata de una construcción liviana, casi levitante, de vidrio y acero, con mucha luz, sin compartimentación, tratándose de un espacio para el desarrollo de la actividad diurna y la convivencia de la familia.

“Cuanto más libere el hombre su pensamiento, más se separará de la tierra la cristalina semiesfera que, liberada, se convierte en una nueva esfera volante, inalcanzable. Cuanto más grande es la necesidad de reposo, del descanso, más profunda se enterrará la enterrada semiesfera.”¹⁸

Sota planteaba no tocar la finca original ya que en el momento de construcción de la vivienda, La Caeira, era un enclave natural con gran valor paisajístico frente a la ciudad de Pontevedra. Tan en serio se toma esta idea, que el jardín resulta una parcela inalterada de esta gran finca, mantiene los árboles, los muros de piedra

¹⁷ Revista Arquitectura N° 228 Enero-Febrero 1981 p.58-59

¹⁸ Revista Arquitectura N° 228 Enero-Febrero 1981 p.58-59

tradicionales... Es además, el conocimiento de la geología y cotas de la parcela la que establece las alturas donde se sitúan los diferentes niveles de la vivienda.

Podemos resumir el proyecto en una continua contraposición entre sombras y luces, elevaciones y soterramientos, ligero y pesado, vidrio y piedra, vivir y dormir, compartimentación y diafanidad. Es en realidad una idea nacida de la propia naturaleza, de la construcción de los animales.

“De cómo hace su casa un topo y de cómo hace un pájaro su nido, ya, sin poesía, podremos aprender mucha arquitectura. La solidez de un topo y la fragilidad de un nido son lecciones dignas”.¹⁹

Fig 13: Casa Domínguez. Fuente: Fundación Alejandro de la Sota



Vistas

Se incluyen planos de la vivienda para la mejor comprensión del bloque de análisis constructivo que procede a continuación.²⁰

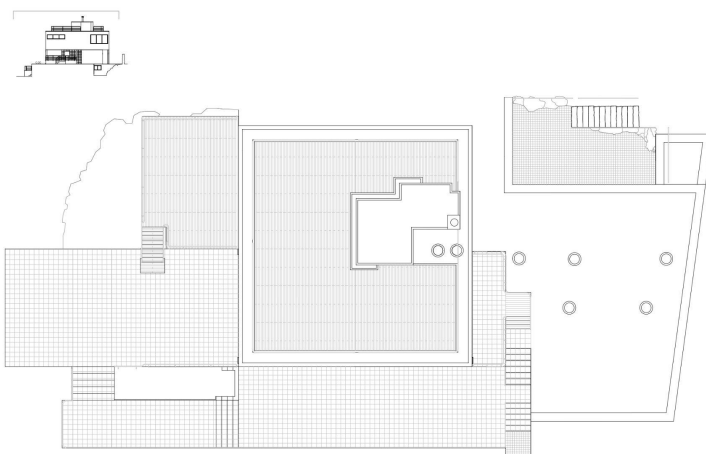


Fig 14 Planta cubiertas. Fuente: ver cita 21

¹⁹ Alejandro de la Sota, Arquitectura y naturaleza, conferencia pronunciada durante el curso de Jardinería y Paisaje. Tomado de: De la Sota, Alejandro, arquitectura y naturaleza, ETSAM, Madrid 1956.

²⁰ S. Agúndez, V. Ferández, J. Guerrero, Proyectos de estructuras, ETSAC 2008-09.

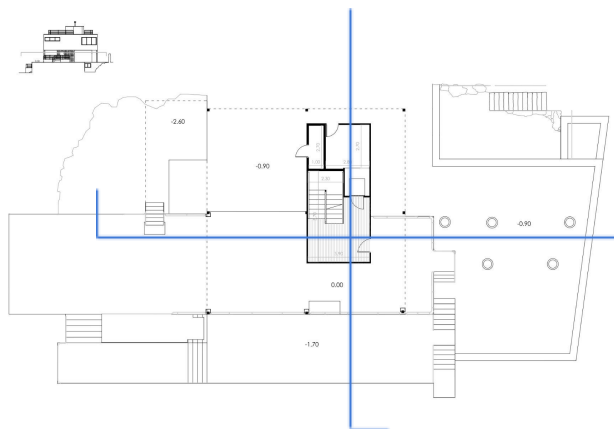


Fig 15 Planta baja o de acceso a la vivienda. Fuente: ver cita 17

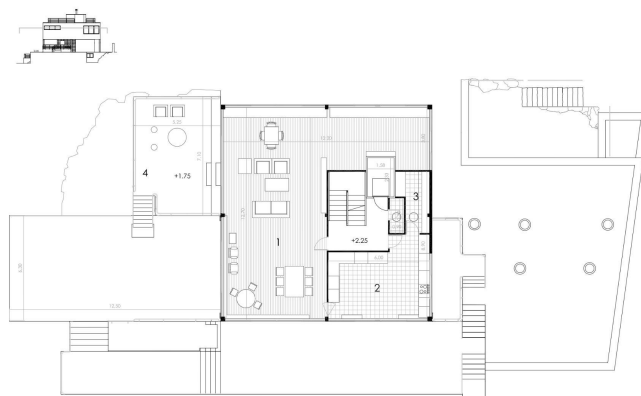


Fig 16 Planta primera. Fuente: ver cita 17

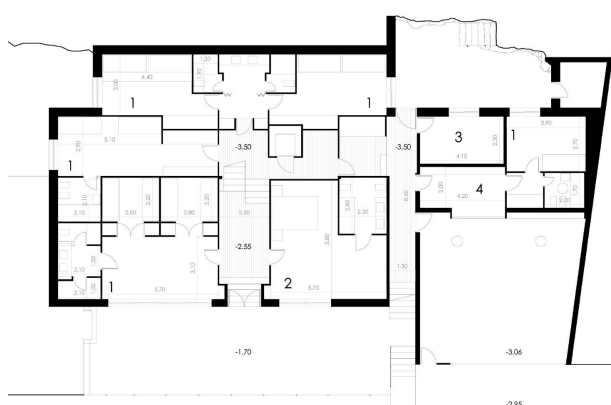


Fig 17 Planta -1, semienterrada. Fuente: ver cita 17

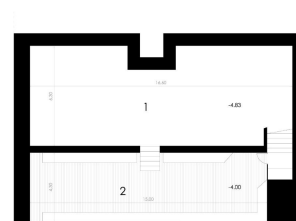


Fig 18 Planta -2, sótano. Fuente: ver cita 17

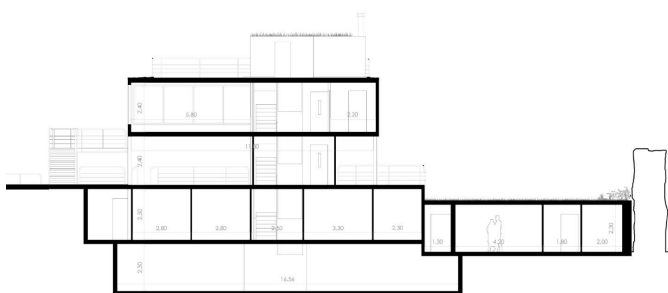


Fig 19 Sección longitudinal . Fuente: ver cita 17
(Corte de ambas secciones en la figura 14)

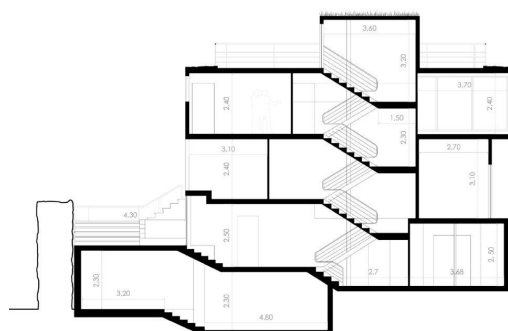


Fig 19 Sección transversal. Fuente: ver cita 17

0.4.3 Análisis constructivo

ESTRATO INFERIOR

El estrato semienterrado está compuesto por una estructura semienterrada de muros y cimentación de hormigón armado revestido con piezas cerámicas de Gres de Burela en su cerramiento.

FORJADO Y CIMENTACIÓN

La cimentación se realiza con zapatas de hormigón armado macizo H-180 de ancho, largo y alto variables; y muros de hormigón armado de 25cm, los cálculos y planos de cimentación son realizados por la empresa Odein.

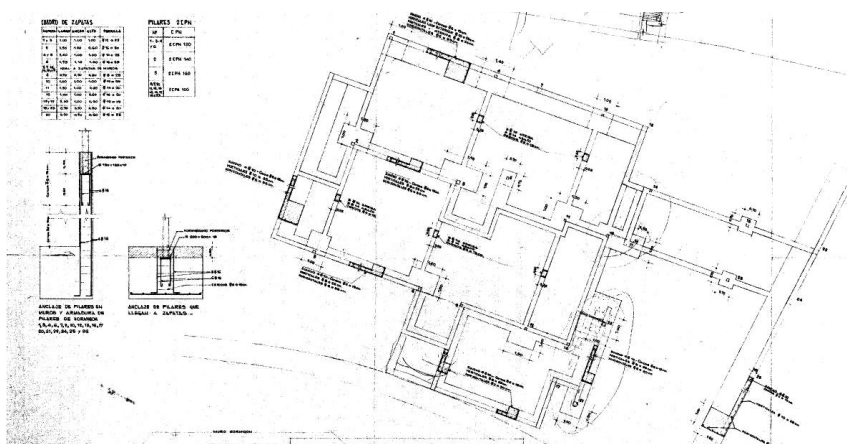


Fig 20: Planta, cuadros y detalles de cimentación. Autor: Empresa Odein, Fundación Alejandro de la Sota

El forjado unidireccional de hormigón armado del estrato enterrado se compone de viguetas pretensadas y bovedillas de hormigón aligerado comercializado como Forjados Rubiera Stalton, una empresa asturiana llamada Rubiera.

COMPOSICIÓN DE MUROS

El revestimiento de la estructura se realiza con piezas cerámicas de Gres de Burela de tamaño 10x20cm, material de origen gallego y con producción local. La plaqueta de gres reviste todas las superficies del estrato semienterrado de la casa, incluidos petos, jardineras.. excepto alguna zona de la cubierta de acabado vegetal.

Fig 21. Detalle pavimentos y jardinera con plaqueta de Gres. Autor: Fundación Alejandro de la Sota



Tras el revestimiento cerámico, se encuentra medio pie de ladrillo perforado enfoscado exteriormente como soporte de la plaqueta. A continuación se ejecuta la impermeabilización de los muros con una capa de Polibreal, un impermeabilizante líquido bituminoso con lámina protectora al exterior y adherido interiormente al muro estructural de hormigón armado de 25cm. Unido al muro de hormigón por el interior, encontramos una doble capa de aislamiento térmico de 2cm cada una y trasdosado interior de yeso.

“Esta sorprendente composición multicapa exterior, unida al doble aislamiento y trasdosado interior, conforma un cerramiento de 50cm de espesor total, un verdadero ‘abrigo’ protector que reduce el gasto energético de la vivienda ante los cambios de temperatura exterior”²¹

CUBIERTA VERDE

La cubierta que a la vez funciona de pavimento en la planta de acceso, se compone de exterior a interior por una capa de 25cm de tierra vegetal, una capa de mortero de cemento²² y una doble capa de impermeabilización Polibreal separadas entre sí por una lámina de aluminio que sirve de protección ante la cubierta vegetal.

Fig 22. Foto encuentro muro de gres con cubierta vegetal. Autor: Fundación Alejandro de la Sota.



Tras el impermeabilizante se extiende una nueva capa de 4cm de mortero que protege el doble aislamiento térmico interior, aislado del forjado de 25 cm de hormigón armado HA-180 con doble capa de polietileno y juntas de dilatación cada 3m.

En total la cubierta se compone de una solución multicapa de 70 cm de espesor total, contando con 25cm de la cubierta vegetal, quedando completamente aislado tanto acústica como térmicamente. Es además una solución muy usada en proyectos de construcción sostenible, por capacidad aislante, protectora y con capacidad de absorción del calor.

²¹ Miguel Ángel Díaz Comacho, "La Casa Domínguez. Alejandro de la Sota: Construir - Habitar" (tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, 2012), . p. 106

²² Toda la información acerca de la construcción se extrae de la tesis doctoral de MADC contrastada con los pocos detalles constructivos originales de la fundación Alejandro de la Sota. Tras leer la tesis de MADC, interpretamos que las capas de compresión de hormigón armado serían en realidad mortero de cemento y para realizar los cálculos se introducen los datos siguiendo éste criterio.

CUBIERTA DE GRES

La cubierta con acabado de gres que sirve a la vez de pavimentación en la planta de acceso a la vivienda, tiene la misma composición que la cubierta vegetal, en vez de los 25cm de cubierta vegetal, tras los 4cm de mortero de cemento, se extiende la superficie de plaqueta de gres.

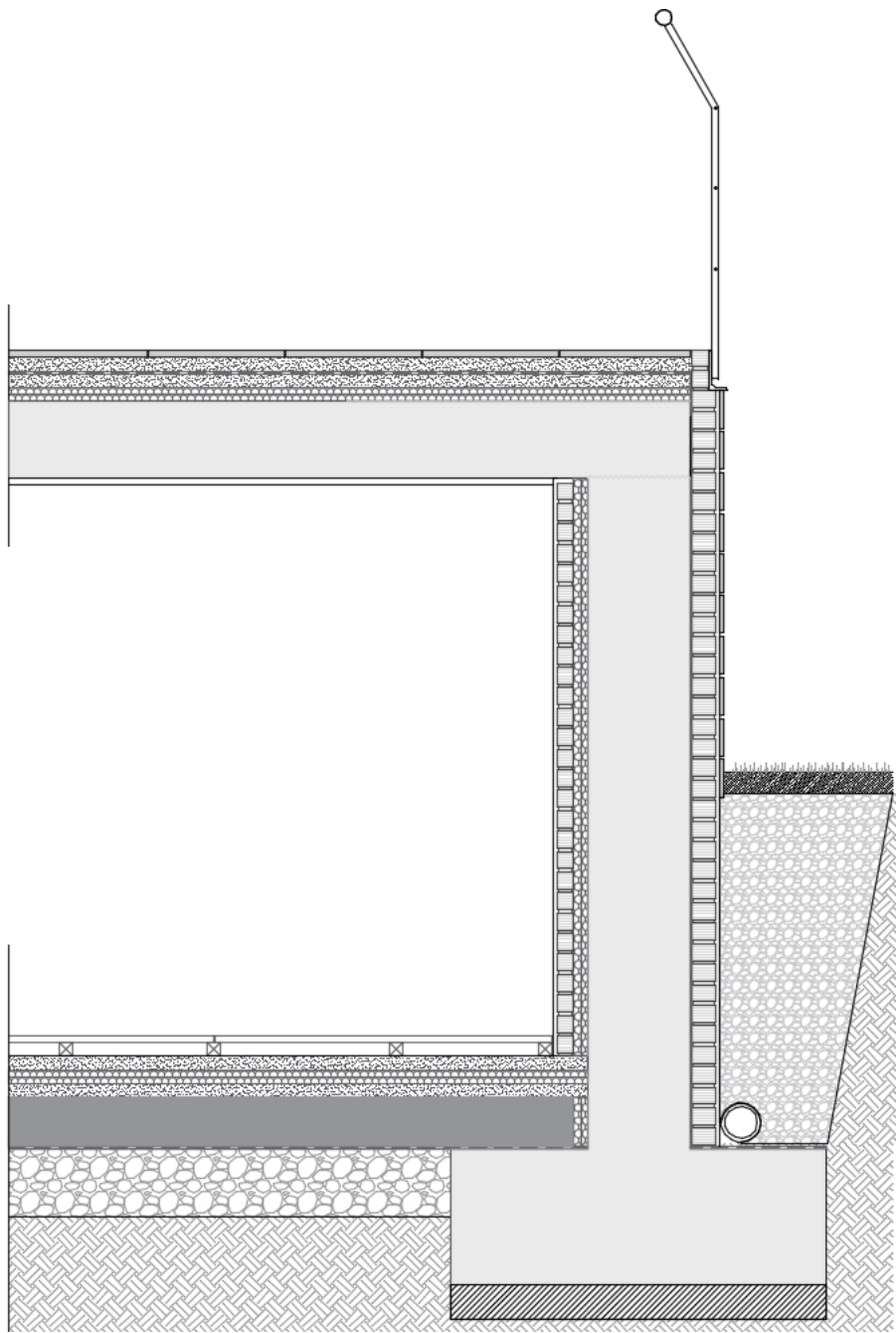


Fig 23. Sección constructiva del estrato inferior. Autor: Autoría propia

ESTRATO SUPERIOR

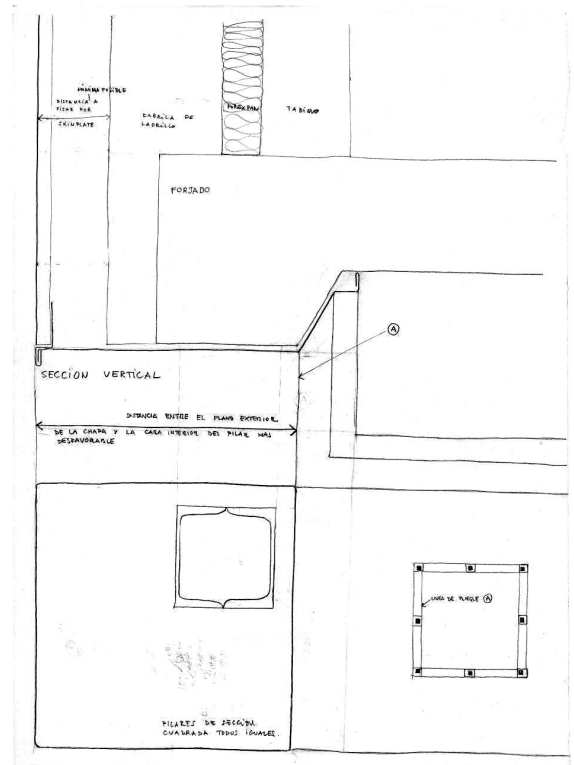
La estructura del palafito superior se compone de 3 pórticos unidireccionales en dirección este-oeste, ante la ausencia de elementos de rigidización, los forjados sirven como estructura horizontal y rigidizadores.

FORJADOS Y PILARES

Los forjados se componen por perfiles IPE140 con canto entre 240 y 330mm, un largo de 11m divididos en dos tramos de 5,5m de luz, hormigón aligerado de 'Rubiera Stalton' y una capa de compresión sobre las vigas de los pórticos de 4cm y resultando un canto total de 18cm.

Los pilares están resueltos por vigas UPN en cajón con sección que varía entre 140 y 200mm y con altura de 5.5m menos los de la fachada oeste de 6,10m.

Fig 24. Detalle constructivo encuentro pilar con forjado estrato superior. Autor: ADLS, Fundación Alejandro de la Sota.



COMPOSICIÓN DE LOS MUROS

El cerramiento traslúcido del acceso a la vivienda en planta baja se compone de cristal pavés en piezas de 20x20x8cm.

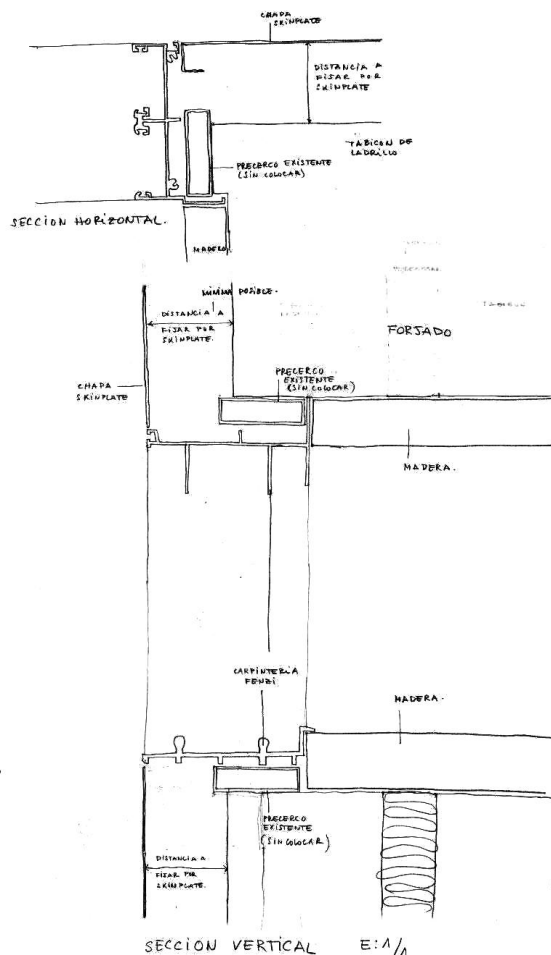
Fig 25. Núcleo de escalera y ascensor de acceso a la vivienda. Autor: Paula Fernández Diz.



El cerramiento del estrato superior está compuesto por: medio pie de ladrillo perforado, doble capa de aislamiento térmico de 2cm cada una, trasdosado de ladrillo hueco doble de 7cm y enlucido de yeso. Decide colocar por delante de los pilares el medio pie de ladrillo y la doble capa de aislamiento, así resuelve los puentes térmicos a través de la estructura. Finalmente cubre la envolvente con perfiles laminados de acabado termoplástico Skinplate de Acieroid.

No existe documentación que confirme si la fachada es ventilada o no, en la tesis doctoral sobre la Casa Domínguez comenta el autor que no pudo conseguir las dimensiones de la chapa Skinplate de Acieroid²³, sin embargo, entendemos que las placas están ancladas entre ellas verticalmente, lo que produce un espacio entre ellas y el muro de ladrillo, según los detalles constructivos de Alejandro de la Sota marca la distancia desde la chapa de acero hasta el muro de ladrillo "distancia: la mínima posible, a fijar por Skinplate"²⁴ por lo que se interpreta que funciona como una fachada ventilada y se introducen los datos y se calcula el balance energético siguiendo este criterio.

Fig 26. Detalles constructivos de unión entre carpintería y chapas de acero. Autor: ADLS, Fundación Alejandro de la Sota.



Las ventanas están compuestas de hojas deslizantes con carpinterías de aluminio Fenzi importadas de Barcelona ya que en Galicia no se comercializaban carpinterías blancas de aluminio. Se compone por un vidrio con luna 'Thermopane' de 6mm, cámara de aire de 12,7mm y otro vidrio Parsol gris de 10mm, calzos de neopreno y sellado con "Thiocol"

²³ Miguel Ángel Díaz Camacho, "La Casa Domínguez. Alejandro de la Sota: Construir - Habitar" (tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, 2012), . p.218

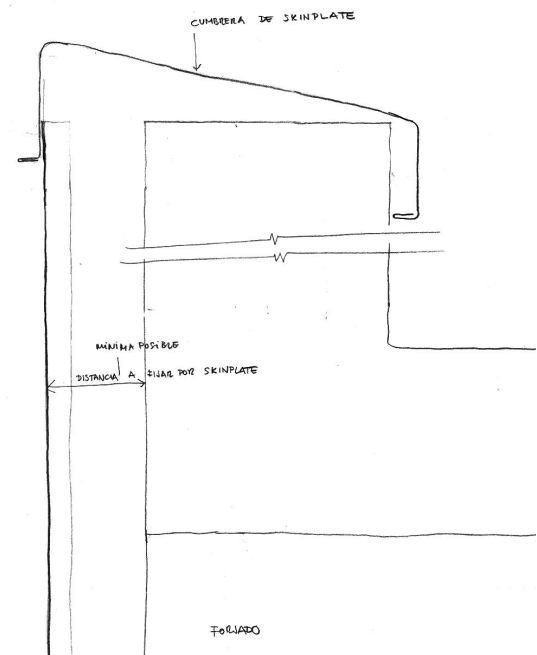
²⁴ Ver figura 20, Boceto original de Alejandro de la Sota. Fuente: Fundación Alejandro de la Sota

“Si bien la carpintería carece de las actuales tecnologías de rotura de puente térmico, la composición laminar del vidrio, con tratamiento exterior de factor solar e interior de control térmico, presenta una tecnología muy avanzada para la época.”²⁵

CUBIERTA

Por último, para la resolución de la cubierta el muro de ladrillo se extiende 30 cm para formar el peto de la jardinera perimetral de la cubierta, forrado por las mismas lamas de Skinplate formando una albardilla de chapa plegada.

Fig 27. Detalle constructivo del encuentro superior entre forjado y jardinera de la cubierta.. Autor: ADLS, Fundación Alejandro de la Sota.



La zona de cubierta transitable es de lamas de madera de elondo, elevada sobre rastreles de la misma madera, estos apoyan sobre plots cerámicos que consiguen un plano horizontal transitable, estos plots descansan sobre un plano de pendientes para la evacuación de pluviales.

Fig 28. Detalle jardinera perimetral cubierta transitable. Autor: Paula Fernández Diz



Además, la cubierta contiene una construcción de fábrica para el acceso de escalera y la maquinaria del ascensor.

Fig 28. Construcción en cubierta núcleo de escaleras. Autor: Paula Fernández Diz.



En los apartados de inserción de datos en DesignPH y PHPP, se desglosan y detallan los forjados con mayor precisión.

²⁵ Miguel Ángel Díaz Camacho, "La Casa Domínguez. Alejandro de la Sota: Construir - Habitar" (tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, 2012), . p.230

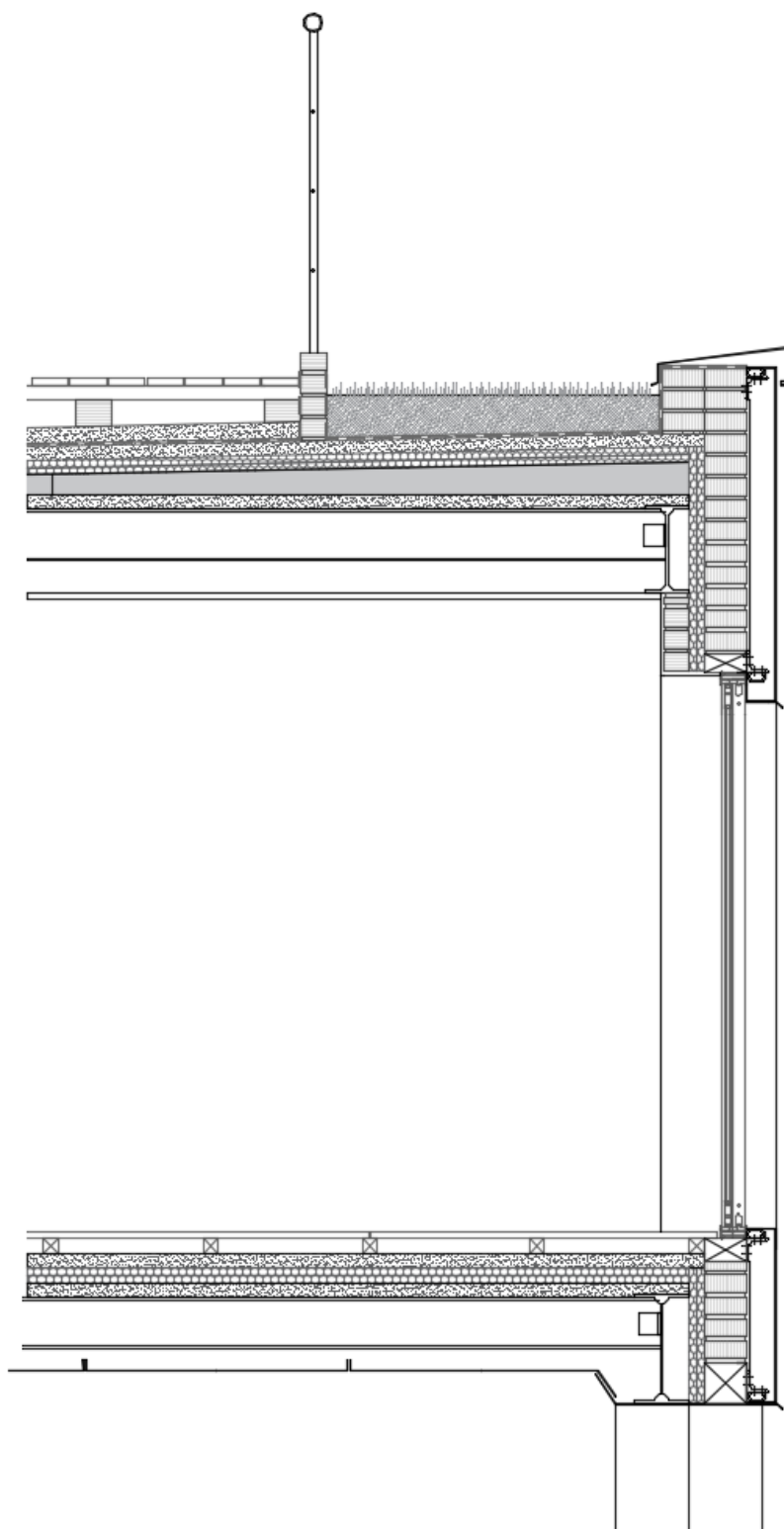


Fig 29. Sección constructiva estrato superior. Autor: Autoría propia

0.5 Aplicación del Estándar Passivhaus

Tras hacer un análisis climático de la ubicación de la vivienda, se procede a desarrollar el modelo en 3D en Sketchup, con el fin de conseguir entender su comportamiento energético siguiendo la línea de trabajo establecida por el Passivhaus Institut. Para ello, se usa el programa SketchUp Pro 2017 con el plugin DesignPH y el programa Microsoft Excel con la herramienta PHPP 9, ambas desarrolladas por el instituto Passivhaus. El plugin DesignPH nos permite agrupar las superficies del modelo 3D según su posición, orientación, composición y su posterior exportación de los datos del modelo 3D a Excel para ser analizada con la herramienta PHPP 9.

MODELADO 3D

Para hacer el análisis lo más certero posible, se exporta de Google Earth la geometría del entorno de la parcela con la herramienta Cadmapper, después, ante la falta de un plano de emplazamiento con curvas de nivel, se acude a la parcela a estudiar la geometría e identificar los elementos que arrojan sombra a la casa (muros, vegetación...).

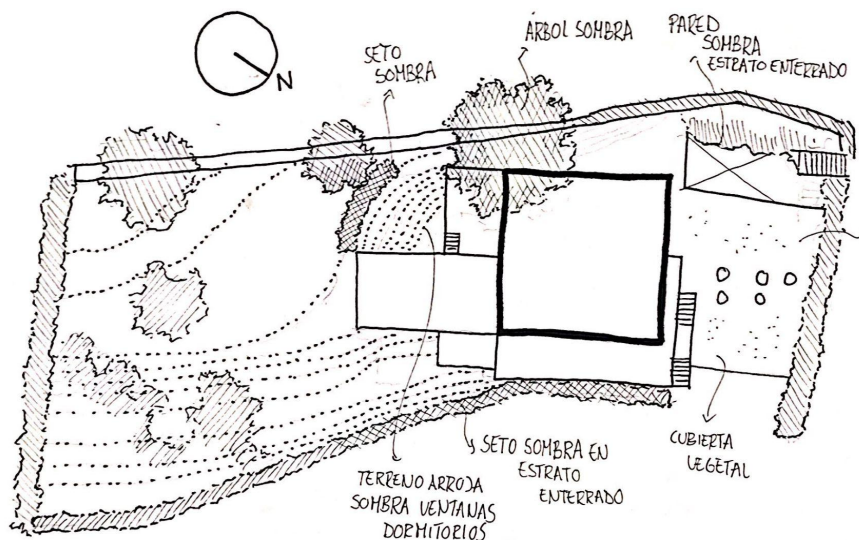


Fig 30. Boceto de la parcela con cotas y sombreamientos. Autor: autoría propia

Con esta información se elabora un plano en Autocad con una estimación de las curvas de nivel y se exporta a SketchUp para el modelado del terreno, por último se orienta la parcela según sus coordenadas geográficas y se realiza el levantamiento de la vivienda.

ELEMENTOS DE SOMBREAMIENTO

Por último se insertan en el 3d los elementos fijos que arrojan sombra sobre la casa: muros perimetrales, setos perennes, plataformas... que en el cálculo se traducirán como factores de reducción por sombreado.

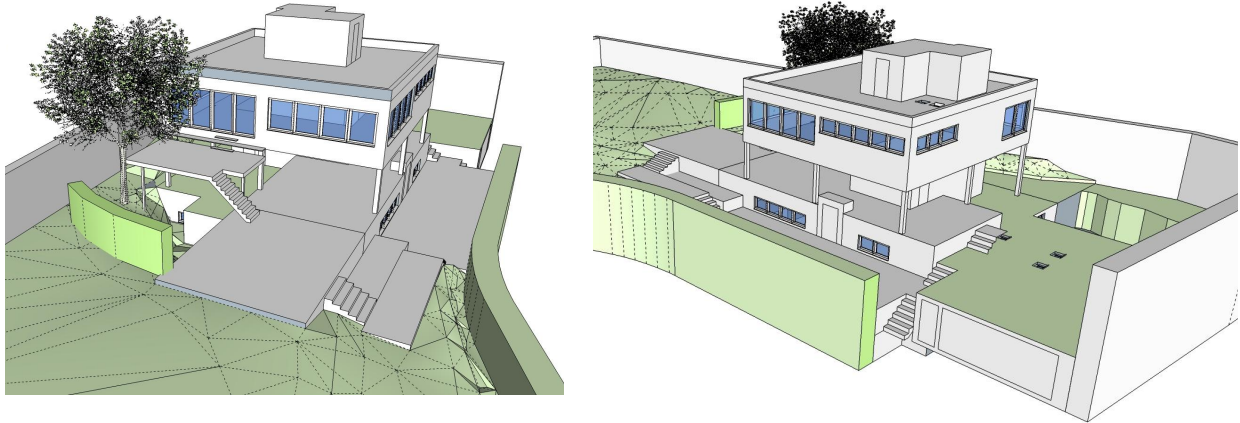


Fig 31 y 32 Modelo 3d de la Casa Domínguez. Autor: autoría propia

Hay que tener en cuenta que hay un árbol en la casa situado frente a las ventanas sur, que se trata de un “Plátano de sombra” de hoja caduca, por lo que afectará de forma diferente en los cálculos posteriores debido a la diferencia reducción de ganancias solares por sombra en verano que en invierno.

Fig 33. Árbol Plátano de sombra en la Casa Domínguez Autor: Paula Diz



Al final de la página 29 se comenta cómo podemos realizar esta distinción.

0.5.1 Inserción de datos en designPH

Una vez elaborado el entorno, el terreno y el levantamiento de la vivienda en 3d, se procede a identificar cuál sería el perímetro cerrado de envolvente térmica, modo de trabajo del instituto Passivhaus para delimitar un volumen que debería ser hermético en un futuro.

A pesar de que sean estructuras y materiales constructivos diferentes, y seguramente, en el estrato superior dada la calidad constructiva, existan mayores fluctuaciones de aire y mayores puentes térmicos que en el estrato semienterrado -que se intuye más hermético y protegido-; se toma la decisión de no separar el estrato superior como una envolvente térmica y el estrato inferior como otra, ya que, en el interior de la vivienda, no hay barreras aislantes que impidan la fluctuación del aire entre el estrato enterrado y el superior dados los huecos de las escaleras.

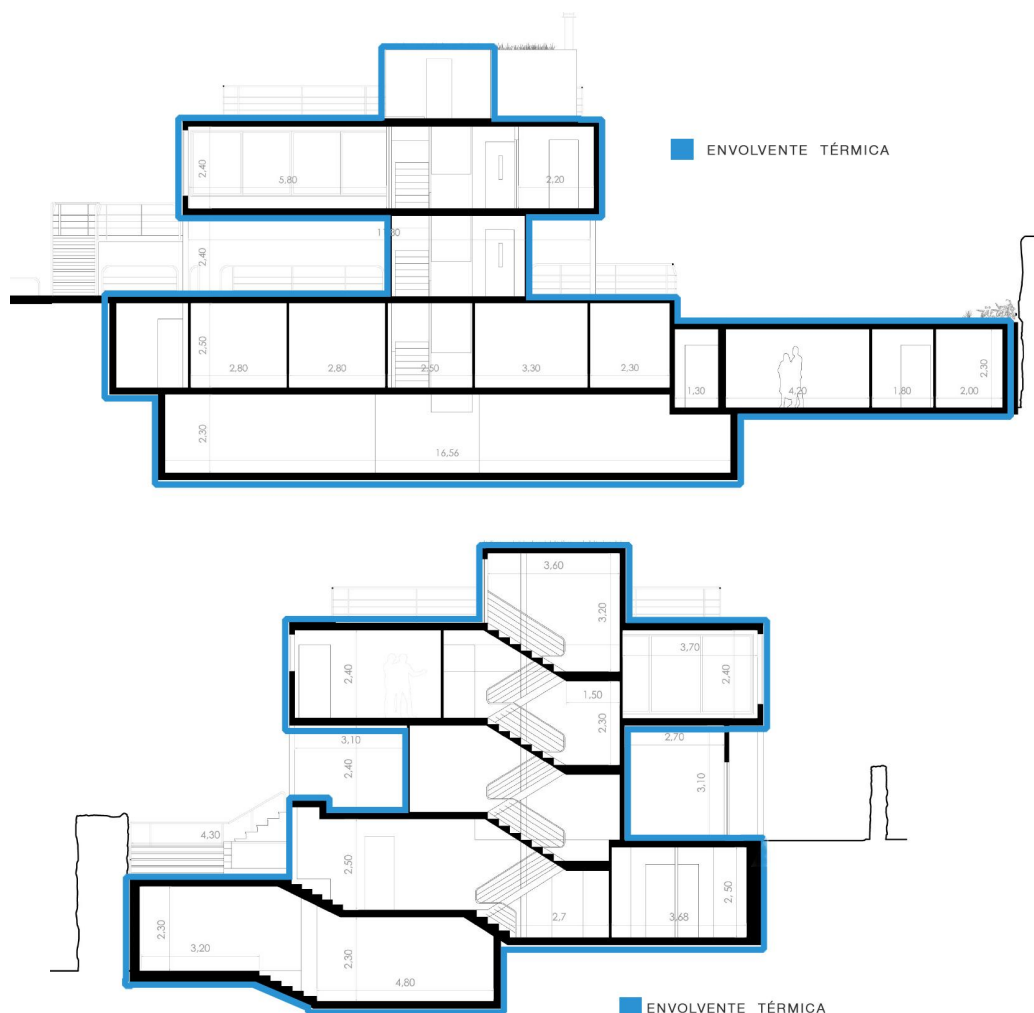


Fig 34 y 35. Delimitación de la envolvente térmica. Autor secciones: S. Agúndez , V. Fernández, J. Guerrero, Proyectos de estructuras, ETSAC 2008-09, edición propia.

CLASIFICACIÓN DE LAS SUPERFICIES

Una vez tenemos nuestra envolvente térmica cerrada, se adjudican los distintos grupos de superficies que el programa PHPP tendrá en cuenta para saber la orientación de las caras y la función de cada superficie del modelo 3d:

*Las marcadas en **negrita** forman parte de la envolvente térmica.

- **superficie de la envolvente en contacto con el exterior**
- **superficies en contacto con el terreno**
- **cubiertas**
- **soleras**
- **puertas exteriores**
- **ventanas**
- elementos de sombreado (árboles, setos, muros, terrazas..)
- zona x - garaje

También se insertan las ventanas y sus correspondientes particiones, indicando la ubicación de los puentes térmicos de las mismas, la medida de los marcos y su posición dentro del cerramiento

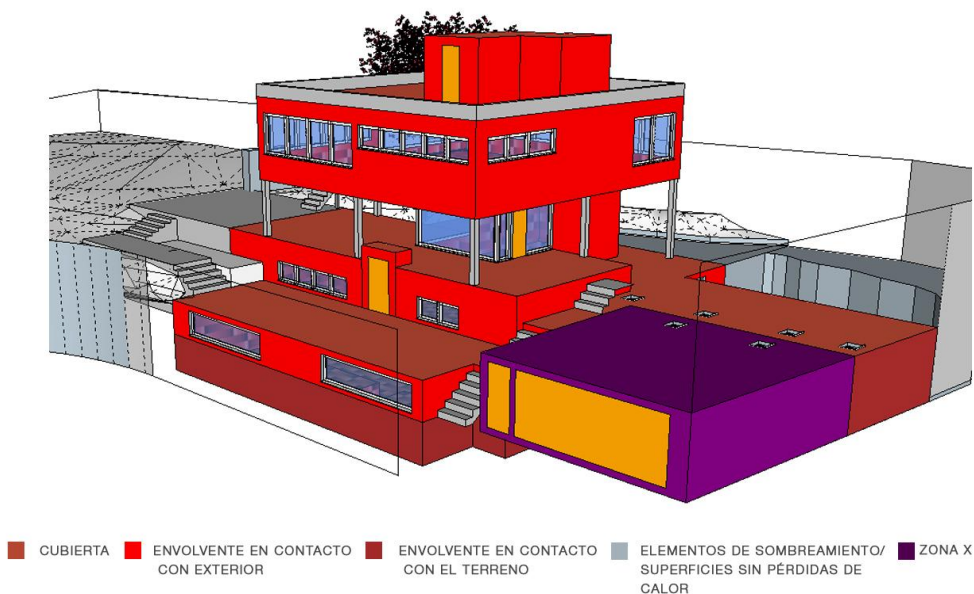


Fig 36. Modelo 3d con su clasificación de superficies. Autor: Autoría propia

ZONA X: Aunque el garaje comparta cubierta y cerramientos con zonas que sí se consideran dentro de la envolvente térmica, es una estancia con unas pérdidas de calor importantes y es necesario diferenciarla como una estancia con parámetros de pérdida de calor intermedia, ya que se le aplicará un porcentaje de reducción de energía.

AGRUPACIÓN DE LOS PARAMENTOS POR DIFERENCIA DE TRANSMITANCIA TÉRMICA

Además de la agrupación por de tipo superficie, hay que hacer una segunda agrupación de las superficies del modelo según la transmitancia del elemento constructivo. Se consideraron las siguientes agrupaciones

1. Cubierta estrato superior
2. Cerramiento estrato superior
3. Suelo estrato superior
4. Cerramiento de pavés planta acceso
5. Cubierta vegetal estrato inferior
6. Cubierta de gres estrato inferior
7. Cerramiento estrato inferior en contacto con el aire
8. Cerramiento estrato inferior en contacto con el terreno
9. Suelo estrato inferior

CÁLCULO DE LAS SUPERFICIES DE REFERENCIA ENERGÉTICA

También se adjudican a los forjados (superficies habitables de la vivienda) valores de referencia energética, que podemos clasificar siguiendo el manual PHPP del Instituto Passivhaus. Dependiendo del uso de las habitaciones, se consideran diferentes porcentajes (100%, 60% o 50%) con el fin de favorecer las zonas que tienen mayor valor en la envolvente térmica en cuanto a eficiencia y de considerar las ganancias internas de calor.

Según el manual PHPP, esta es la clasificación que se debe seguir al adjudicar las superficies:

Se toman en cuenta en un 100%	Se toman en cuenta en un 60%	Se toman en cuenta en un 0%
<ul style="list-style-type: none"> - Áreas habitables en las que los ocupantes pasan la mayor parte del tiempo (cuartos que cuentan con alrededor de 10% de ventanas en su superficie de muros) - Lavandería - Habitaciones auxiliares (áreas como el cuarto de instalaciones, trastero, cuartos de almacenaje, etc.) dentro de la vivienda. - Áreas de acceso dentro de las viviendas - Armarios 	<ul style="list-style-type: none"> - Cuartos auxiliares fuera de la vivienda o en el sótano* - Áreas de acceso fuera de la vivienda o en el sótano* <p>*) En viviendas aisladas los cuartos auxiliares y áreas de acceso se toman en cuenta con un 60% sólo si se localizan en niveles en los que menos del 50% del área del piso son áreas habitables, como por ejemplo en sótanos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Escaleras cuando éstas tienen más de 3 escalones - Tiro del ascensor >0.1 m² - Columnas y muros divisorios con altura de suelo a techo > 0.1 m² - Vacios (espacios sobre habitaciones con doble altura) - Remetimientos de puertas de entrada o puertas acristaladas al interior que tengan una profundidad menor a 0.13m - Cuartos que estén fuera de la envolvente térmica

Fig 37. Clasificación de las superficies de referencia energética. Autor: Manual PHPP. Passivhaus Institute.

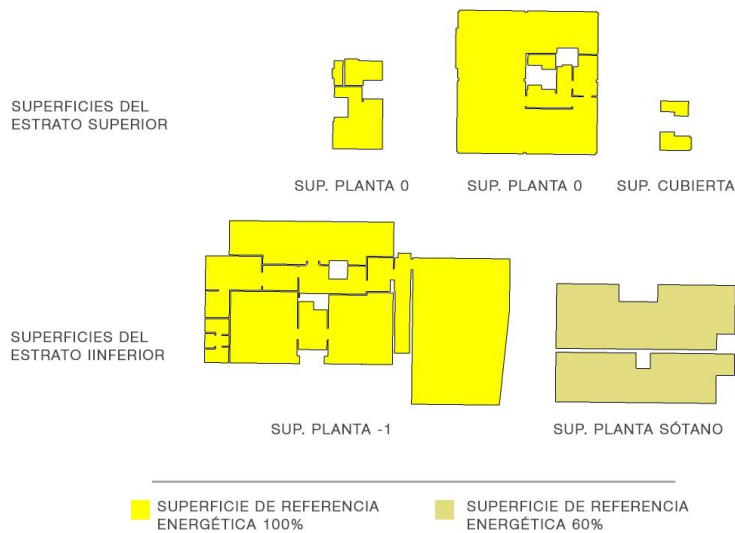


Fig 38. Clasificación de las superficies de referencia energética. Autor: Captura de Sketchup con edición propia.

EJECUCIÓN DEL ANÁLISIS

Una vez tenemos toda esta información insertada, se mete en un grupo el conjunto de superficies que engloban la envolvente térmica y en otro las superficies de referencia energética, se seleccionan y se ejecuta el análisis.

Para conocer la reducción de ganancias solares que produce el árbol caduco, al no ser un elemento fijo de sombreado durante el año, se ejecuta el análisis dos veces en Design PH, uno con hojas, correspondiente a la temporada de verano, y otro sin hojas como se muestra en las imágenes, gracias a esta distinción en el análisis, sabremos la reducción por sombreado que provoca en las ventanas del sur a lo largo del año.

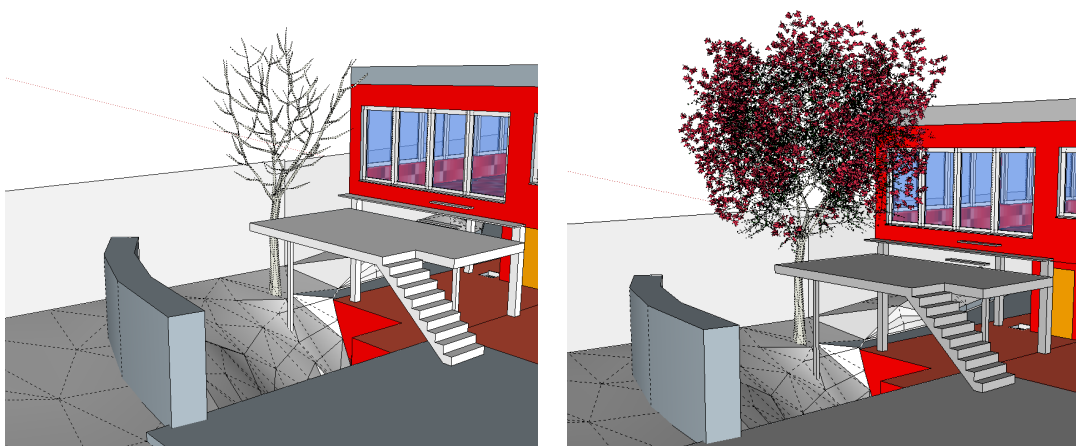


Fig 39 y 40. Modelo 3d en sketchup, Plátano con y sin hojas. Autor: Autoría propia

0.5.2 Inserción de datos en PHPP

Como se comentaba anteriormente, PHPP es una herramienta del Instituto Passivhaus que funciona con Microsoft Excel y desde el que se importan todos los datos introducidos anteriormente en el DesignPH con Sketchup. Una vez que abrimos el archivo exportado de DesignPH, tras una pequeña configuración, podemos observar todos los datos introducidos en las correspondientes celdas del excel, en el caso de este trabajo, partimos en la herramienta PHPP con cada superficie de la envolvente térmica asociadas a sus correspondientes grupos y se inicia la introducción de datos.

CLIMA

Empezamos insertando los datos del clima, dentro del documento "CTE-HE ahorro de energía" en la tabla a-Anejo B permite obtener la zona climática de un emplazamiento en función de su provincia y su altitud respecto al nivel del mar.

En este caso se trata de la provincia de Pontevedra, altitud (42m) y coordenadas (42,3°,-8,6°) ; la zona climática correspondiente según el CTE es la Zona C1 - ES0024b, que el programa PHPP clasifica como zona 5 cálida.

FUNCIONAMIENTO DE LA HOJA DEL PHPP DE VALORES-U

Por último, se realiza una investigación para calcular la transmitancia térmica (U) de cada paramento de la vivienda, intentando aproximarse al máximo a los valores de los materiales originales utilizados por Alejandro de la Sota al construir la vivienda.

Para el cálculo de la transmitancia térmica (U), hay que adjudicar los siguientes datos a cada paramento:

1. Valores de resistencia térmica superficial interior y exterior.
2. Conductividad térmica y espesor de cada material que compone el paramento.
3. Inclinação del elemento: techo, muro o suelo
4. Ambiente adyacente a la superficie exterior de la envolvente
 - en contacto con el aire
 - en contacto con el terreno
 - ventilada: si se trata de un material exterior con ventilación entre él y la envolvente térmica.

Los puntos 3 y 4 vienen proporcionados automáticamente de la importación de datos de DesignPH, pero conviene revisarlos ya que algunos elementos tienen sus particularidades y puede interpretarlos erróneamente.

La hoja de Valores U de PHPP funciona como una calculadora que sigue la siguiente fórmula:

$$U = \frac{1}{R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}}$$

R_{si} , R_{se} : Resistencia térmica superficial interior y exterior según UNE-EN ISO 6946
 $R_1 \dots R_n$: Resistencia térmica de cada una de las capas de construcción, 1...n

Fig 41. Fórmula de cálculo de la transmitancia térmica.
 Autor: Manual PHPP

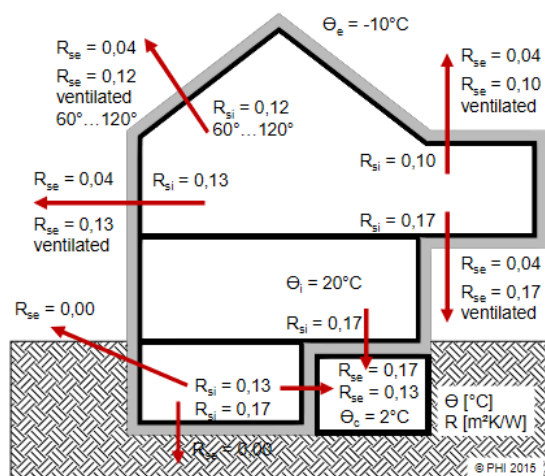
A continuación se explica la identificación de las R_{si} , R_{se} y las R_n de cada material.

CÁLCULO DE LAS RESISTENCIAS TÉRMICAS SUPERFICIALES

Se comienza por adjudicar los valores de las resistencias térmicas superficiales exteriores e interiores de cada paramento, a diferencia de la resistencia térmica de los materiales, la resistencia superficial depende de las condiciones de contorno, es decir, con qué está en contacto la superficie exterior y la dirección en que se produce el intercambio de calor.

Se adjudican siguiendo el siguiente esquema proporcionado por el instituto Passivhaus:

3.1 Temperatures and heat transfer resistances for heat flow simulation



R_{si} is always set as 0.25 m²K/W for calculating the temperature factors.

Fig 42. Valores de las resistencias superficiales según las condiciones de contorno. Autor: Passivpedia

CÁLCULO DE LAS RESISTENCIAS TÉRMICAS DE LOS MATERIALES

A continuación, entendiendo la composición de cada elemento constructivo de la vivienda, se comienza a identificar los valores de conductividad térmica (λ) y los espesores de cada material del parámetro para conseguir la resistencia térmica de cada material, que se calcula a través de esta fórmula: $R = e/\lambda$

VALORES U FINALES

A continuación, se presentan las tablas con la estimación de datos y los resultados finales de la transmitancia térmica (U) de cada paramento. Todos los valores de conductividad térmica fueron extraídos del catálogo de elementos constructivos del CTE WEB.

CUBIERTA TRANSITABLE ESTRATO SUPERIOR	ESPESOR (mm)	λ (w/m.k)
lamas de madera de elondo ²⁶	30	-
cámara de aire formada por rastreles de madera y plots cerámicos	50	-
doble capa mortero de cemento de regularización (en medio de ellas lámina impermeabilizante)	80	1
doble capa EPS Poliestireno Expandido	40	0,04
hormigón ligero de formación de pendientes	90	1,2
forjado unidireccional de perfiles metálicos y hormigón aligerado	18	4
enlucido de yeso	15	0,57

RESISTENCIAS TÉRMICAS SUPERFICIALES:

Cubierta ventilada $R_{si} = R_{se} = 0,10 \text{ m}^2\text{K/W}$

INCLINACIÓN: 1 - techo

ADYACENTE A: 1 - aire exterior

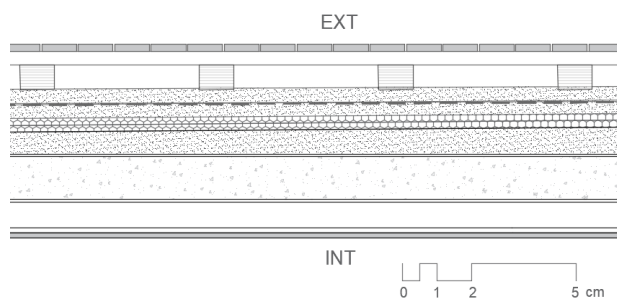


Fig 43, detalle constructivo de la cubierta del estrato superior. Autor: autoría propia

CUBIERTA ESTRATO SUPERIOR	ESPESOR TOTAL ²⁷ (cm)	TRANSMITANCIA (U) (W/m ² K)
Resultados finales	40,5 cm	0,701 w/m ² K

²⁶ Al estimar la cubierta como ventilada, se considera el límite de la envolvente térmica sobre el plano exterior de mortero de cemento (sin contabilizar las lamas de madera ni la cámara de aire para el cálculo de la U) y se considera la Resistencia térmica superficial exterior (R_{se}) como ventilada ($R_{si} = R_{se} = 0,10 \text{ m}^2\text{K/W}$).

²⁷ Cabe resaltar que los espesores totales tienen una ligera variación con respecto a los reales, pero hay que tener en cuenta que hay materiales que no se tienen en cuenta para el cálculo de la transmitancia (U) como las láminas impermeabilizantes, de vapor, antipunzonamiento o zonas ventiladas.

CERRAMIENTO ESTRATO SUPERIOR	ESPESOR (mm)	λ (w/m.k)
perfiles laminados de chapa de acero con ²⁸ película termoplástica lacada en blanco	3	-
cámara de aire	30	-
medio pie de ladrillo perforado	140	0,35
doble capa EPS Poliestireno Expandido	40	0,04
ladrillo hueco doble	70	0,32
enlucido de yeso	15	0,57

RESISTENCIAS TÉRMICAS SUPERFICIALES:

Fachada ventilada $R_{si} = R_{se} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$

INCLINACIÓN: 2-Muro

ADYACENTE A: 3-ventilada

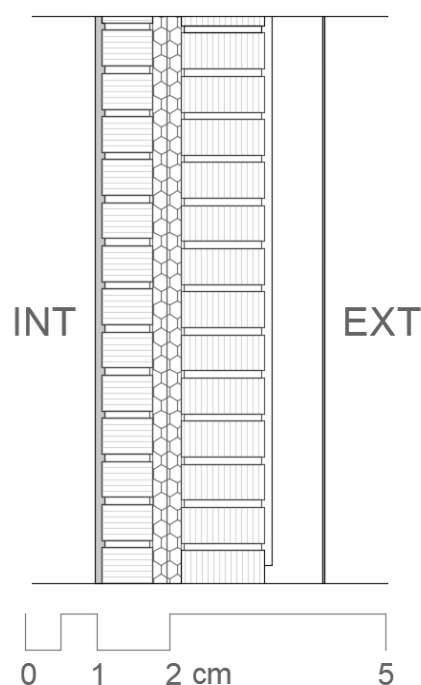


Fig 44, detalle constructivo del cerramiento del estrato superior.

Autor: autoría propia

CERRAMIENTO ESTRATO SUPERIOR	ESPESOR TOTAL ²⁹ (cm)	TRANSMITANCIA (U) (W/m²K)
Resultados finales	29,8 cm	0,525 w/m²K

²⁸ Al estimar la fachada como ventilada, se considera el límite de la envolvente térmica tras el plano exterior del muro de ladrillo (sin contabilizar las lamas de acero para el cálculo de la U) y se considera la Resistencia térmica superficial exterior (R_{se}) como ventilada ($R_{si} = R_{se} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$).

²⁹ Cabe resaltar que los espesores totales tienen una ligera variación con respecto a los reales, pero hay que tener en cuenta que hay materiales que no se tienen en cuenta para el cálculo de la transmitancia (U) como las láminas impermeabilizantes, de vapor, antipunzonamiento o zonas ventiladas.

SUELO ESTRATO SUPERIOR	ESPESOR (mm)	λ (w/m.k)
parquet de madera ligera	20	0,22
cámara de aire con rastreles de madera*	30	*
mortero de cemento	40	0,41
doble capa EPS Poliestireno Expandido	40	0,04
forjado de perfiles IPE 140 + hormigón armado aligerado + capa compresión	200	4

*En el caso de la cámara de aire con rastreles bajo el parquet, no está ventilada y se considera del siguiente modo:

Superficie parcial 1 (70%) : cámara de aire $\lambda = 0,3$

Superficie parcial 2 (20%) : rastreles de madera $\lambda = 0,22$

RESISTENCIAS TÉRMICAS

SUPERFICIALES:

$R_{si} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$

$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$

INCLINACIÓN: 3- Suelo

ADYACENTE A: 1 - aire exterior

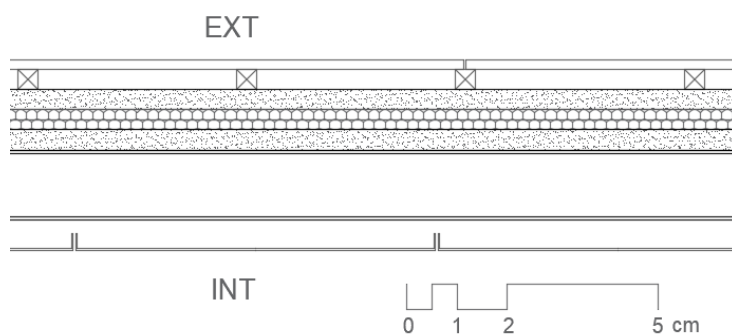


Fig 45, detalle constructivo del suelo del estrato superior.

Autor: autoría propia

SUELO ESTRATO SUPERIOR	ESPESOR TOTAL ³⁰ (cm)	TRANSMITANCIA (U) (W/m ² K)
Resultados finales	33 cm	0,660 w/m ² K

³⁰ Ver nota 28

CUBIERTA VEGETAL ESTRATO SEMIENTERRADO	ESPESOR (mm)	λ (w/m.k)
tierra vegetal	250	0,52
doble capa mortero de cemento de regularización (en medio de ellas lámina impermeabilizante)	80	2,3
doble aislante térmico	40	0,04
forjado unidireccional de viguetas pretensadas y bovedillas de hormigón aligerado	250	4
enlucido de yeso	15	0,57
CUBIERTA CERÁMICA ESTRATO SEMIENTERRADO	ESPESOR (mm)	λ (w/m.k)
plaqueta de gres	10	2,3
doble capa mortero de cemento de regularización (en medio de ellas lámina impermeabilizante)	80	2,3
doble aislante térmico	40	0,04
forjado unidireccional de viguetas pretensadas y bovedillas de hormigón aligerado	250	4
enlucido de yeso	15	0,57

RESISTENCIAS TÉRMICAS

SUPERFICIALES:

$R_{si} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$

$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$

INCLINACIÓN: 1- Techo

ADYACENTE A: 1 - aire exterior

Fig 46, arriba. Detalle constructivo de la cubierta de gres del estrato inferior. Autor: autoría propia

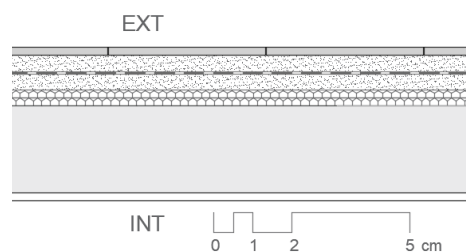
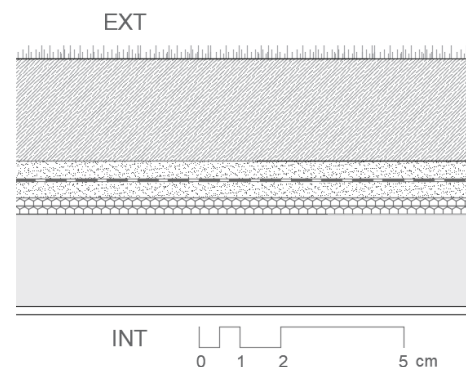


Fig 46, debajo. Detalle constructivo de la cubierta vegetal del estrato inferior. Autor: autoría propia



Resultados finales	ESPESOR TOTAL ³¹ (cm)	U (W/m²K)
CUBIERTA VEGETAL	0,65	0,561
CUBIERTA CERÁMICA	40	0,734

³¹ Ver nota 28

CERRAMIENTO ESTRATO SEMIENTERRADO	ESPESOR (mm)	λ (w/m.k)
plaqueta de gres de Burela	10	2,3
enfoscado de mortero de cemento	10	1,2
medio pie de tabique de ladrillo perforado	140	0,35
enfoscado de mortero de cemento	10	1,2
muro de HA-180	250	2,3
doble aislante térmico	40	0,04
ladrillo hueco sencillo	30	0,32
enlucido de yeso	15	0,57

El cerramiento del estrato semienterrado tiene zonas en que los muros exteriores están en contacto con el aire y otras que están en contacto con el terreno, por lo que las resistencias térmicas superficiales varían ya que el comportamiento térmico del muro será diferente. Se aplican los correspondientes valores de resistencias térmicas superficiales

RESISTENCIAS TÉRMICAS SUPERFICIALES

(en contacto con el aire)

$R_{si} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$

$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$

INCLINACIÓN: 2- Muro

ADYACENTE A: 1 - aire exterior

RESISTENCIAS TÉRMICAS SUPERFICIALES

(en contacto con el terreno)

$R_{si} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$

$R_{se} = 0,00 \text{ m}^2\text{K/W}$

INCLINACIÓN: 2- Muro

ADYACENTE A: 2 - terreno

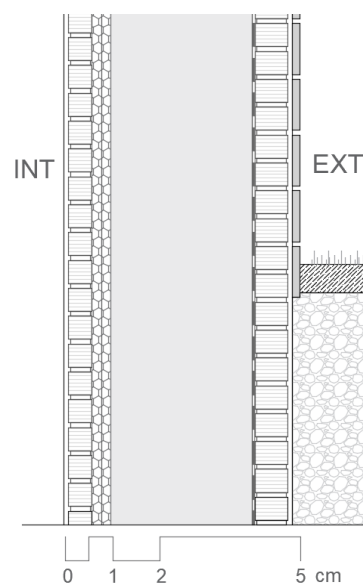


Fig 47, Detalle constructivo del cerramiento del estrato inferior. Autor: autoría propia

CERRAMIENTO ESTRATO SEMIENTERRADO	ESPESOR TOTAL (cm)	TRANSMITANCIA (U) (W/m ² K)
en contacto con el aire	50	0,572
en contacto con el terreno	50	0,585

SUELO ESTRATO SEMIENTERRADO	ESPESOR (mm)	λ (w/m.k)
parquet de madera ligera	20	0,22
cámara de aire con rastreles de madera*	30	*
mortero de cemento	40	0,41
doble capa EPS Poliestireno Expandido	40	0,04
capa de compresión	40	1,6
solera de hormigón armado	200	1

*En el caso de la cámara de aire con rastreles bajo el parquet, no está ventilada y se considera del siguiente modo:

Superficie parcial 1 (70%) : cámara de aire $\lambda = 0,3$

Superficie parcial 2 (20%) : rastreles de madera $\lambda = 0,22$

RESISTENCIAS TÉRMICAS SUPERFICIALES:

$R_{si} = 0,17 \text{ m}^2\text{K/W}$

$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$

INCLINACIÓN: 3- Suelo

ADYACENTE A: 1 - aire exterior

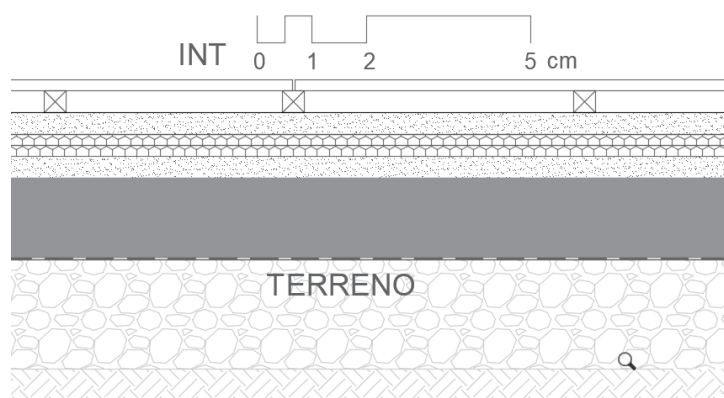


Fig 48. Detalle constructivo del suelo del estrato inferior. Autor: autoría propia

SUELO ESTRATO SEMIENTERRADO	ESPESOR TOTAL ³² (cm)	TRANSMITANCIA (U) (W/m²K)
Resultados finales	33 cm	0,656 w/m²K

PUERTAS

³² Ver nota 28

Todas las puertas de acceso a la casa desde el exterior son metálicas y tienen un ancho de 4,7 cm

Fig 50 izquierda: puerta metálica de entrada en la planta de acceso

Fig 51 derecha: Puerta metálica de acceso al estrato semienterrado.

Autor: Autoría propia



Las puertas se insertaron en DesignPH como elemento opaco, es decir, como un paramento más de la envolvente térmica y su transmitancia se extrae de la ficha técnica de una puerta de características similares.

RESISTENCIAS TÉRMICAS SUPERFICIALES (en contacto con el aire)

$$R_{si} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$$

INCLINACIÓN: 2- Muro
ADYACENTE A: 1 - aire exterior

Fig 52 derecha: Ficha técnica de puerta metálica

Autor: catálogo Leroy Merlin

Tipo de producto	Puerta metálica
Espesor de la hoja (en mm)	47
Material del marco	Acero galvanizado
Material de la puerta	Acero
Marca del producto	THT
Coefficiente de transmitancia térmica U (W/m².K)	1.6

PUERTAS EXTERIORES METÁLICAS	ESPESOR TOTAL	TRANSMITANCIA (U)
Resultados finales	47 mm	1,6 w/m²K

CUADRO RESUMEN EN PHPP CON TODOS LOS VALORES-U

ID	Sistema constructivo	Elemento constructivo	Espesor total	Valor-U
	Resumen de los elementos constructivos calculados en la hoja "Valores-U"		m	W/(m²K)
01ud	CERRAMIENTO E. SUPERIOR	CERRAMIENTO E. SUPERIOR	0,298	0,525
02ud	PUERTAS EXTERIORES METÁLICAS	PUERTAS EXTERIORES METÁLICAS	0,047	1,600
03ud	CUBIERTA ESTRATO SUPERIOR	CUBIERTA ESTRATO SUPERIOR	0,405	0,701
04ud	CERRADO E. SEMIENTERRADO	CERRADO E. SEMIENTERRADO	0,490	0,572
05ud	CUBIERTA VEGETAL E. SEMI	CUBIERTA VEGETAL E. SEMI	0,635	0,561
06ud	CUBIERTA GRES E. SEMI	CUBIERTA GRES E. SEMI	0,395	0,734
07ud	SUELO E. SUPERIOR	SUELO E. SUPERIOR	0,330	0,660
08ud	SUELO E. ENTERRADO	SUELO E. ENTERRADO	0,320	0,664
09ud	CERRAMIENTO E. ENTERRADO	CERRAMIENTO E. ENTERRADO	0,490	0,585

Fig 53. Tabla resumen de valores-U . Autor: Captura de PHPP elaboración propia

ACRISTALAMIENTO

Los huecos son el “punto débil” de la envolvente, por lo que, en viviendas eficientes, las carpinterías utilizadas tienen muy baja transmitancia térmica y las ventanas son de doble o triple vidrio rellenas de un gas inerte. El vidrio es bajo emisor para reflejar el calor al interior de la vivienda en invierno y mantenerlo en el exterior durante el verano.

En el caso de la casa Domínguez el vidrio utilizado se describe como acristalamiento con luna “Thermopane” con cámara de 12,7mm, una luna de 6mm y la otra cara de Parsol gris de 8 mm, calzos de neopreno y sellado con “Thiocol”³³

Aunque esta carpintería hoy en día se presenta un poco obsoleta, sin la incorporación de nuevas tecnologías de roturas de puente térmico, la composición laminar del vidrio, con tratamiento exterior de factor solar e interior de control térmico, presenta una tecnología muy avanzada para la época.



Fig 54. Ventanas de la Casa Domínguez. Autor: autoría propia

Para el cálculo de los datos a introducir en el PHPP se utiliza una herramienta libre de la compañía francesa Saint-Gobain, que funciona como una calculadora de

³³ Miguel Ángel Díaz Camacho, “La Casa Domínguez. Alejandro de la Sota: Construir - Habitar” (tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, 2012), . p.230

acristalamientos llamada Calumen Live³⁴. De la que hemos obtenido los siguientes resultados insertando los datos que se pueden observar en la figura 55. Estos datos se insertan a continuación dentro de la hoja excel de PHPP.

FACTORES LUMINOSOS		CIE (15-2004)	FACTORES ENERGÉTICOS	EN410 (2011-04)
Trans. Luminosa (TL)	15%		Trans. energético (TE)	17%
Reflexión exterior (RLe)	5%		Refl. energ. exterior (Ree)	6%
Reflexión interior (RLi)	6%		Refl. energ. interior (Rei)	6%
TRANS. TÉRMICA		EN673-2011	Absorción energ. A1 (AE1)	60%
Ug	2,8 W / (m².K)		Absorción energ. A2 (AE2)	17%
respecto de pos. vertical	0°		FACTORES SOLARES	
DIMENSIONES DE FABRICACIÓN			EN410 (2011-04)	
Espesor nominal	26,00 milímetros		FACTOR SOLAR (g)	0,35
Peso	35,0 kg / m²		Coef. de Sombra (SC)	0,40
ACÚSTICA		EN 12758	INDICE DE REPRODUCCIÓN DE COLOR	
<i>Valores acústicos simulados</i>			Transmisión Luminosa (Ra)	89
Rw (C; Ctr)	36 (-1; -4) dB		Reflexión exterior (Ra)	97
STC (ASTM E413)	36		NIVEL DE RESISTENCIA ANTIAGRESIÓN	
OITC (ASTM E1332)	30		Nivel de Resistencia	NPD
			Antiagresión	



Climalit 8 GRIS (12 AIR) 6 GRIS

Vidrio 1	PARSOL GRIS 8 mm
Camara 1	AIRE 12 mm
Vidrio 2	PARSOL GRIS 6 mm

Fig 55. Aproximación al acristalamiento original de la Casa Domínguez con la herramienta CalumenLive de la compañía Saint-Gobain.

Para el cálculo de la transmitancia de los marcos, según el catálogo de elementos constructivos del CTE (art 3.16), para marcos de aluminio sin rotura de puente térmico se considera:

$$U_{h,m} = 5,7 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \quad U_g = 2,8$$

CÚPULA BIVALVA DE POLIETILENO

Los lucernarios del estrato enterrado, se encuentran insertados en la cubierta vegetal de 70cm de espesor y se trata de una cúpula bivalva fija de policarbonato traslúcido de 3mm de espesor.

Los datos de transmitancia térmica se extraen del catálogo comercial de la empresa de claraboyas Convex.³⁵

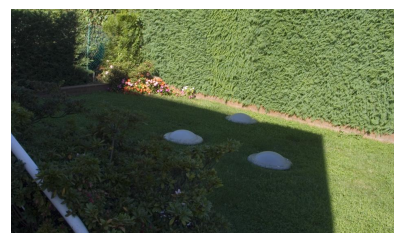


Fig 56. Cúpulas bivalvas de la Casa Domínguez.
Autor: Autoría propia

³⁴ Herramienta CalumenLive de Saint-Gobain <https://calumenlive.com/es/configure>

³⁵ Empresa Convex. Catálogo claraboyas Convex 2021 https://www.convexsl.com/wp-content/uploads/2021/05/Catalogo_Claraboyas_Convex_2021.pdf

Características Térmicas			
Pro. Reblandecimiento VICAT	100,3	°C	UNE-EN ISO 306
Conducción Térmica	0,18	W/mk	DIN 52612
Dilatación Lineal	4,15x10	°C	UNE 53126
Flexión Bajo Carga	86,8	°C	UNE-EN ISO 75-2
Transmisión de Calor Monovalva	5,16	Kcal/m2h°C	
Transmisión de Calor Bivalva	2,28	Kcal/m2h°C	
Transmisión Luminica Transparente	93	%	
Transmisión Luminica B. Hielo	75	%	
Índice de Refracción	1,492	nD20	ISO 489

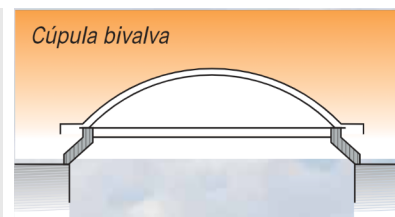


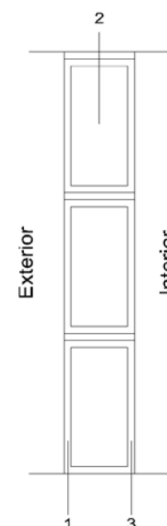
Fig 57. izquierda. Ficha técnica del catálogo comercial de la empresa Convex. Autor: Convex SL

Fig 58. derecha Detalle del catálogo comercial de la empresa Convex. Autor: Convex SL

CERRAMIENTO DE PAVÉS

En un principio, al adjudicar las superficies en el modelo 3d, se tomó el cerramiento de pavés como un cerramiento opaco dándole la transmitancia del pavés, pero finalmente, se concluyó que de esa forma estaríamos perdiendo las ganancias solares (g) al tratarse de un cerramiento traslúcido, así que se insertaron en el DesignPH como ventanas. El pavés empleado tiene una composición de 20x20x8 y se recurre al catálogo de la empresa Mundopavés para los datos de transmitancia.

Fig 59. Composición del cerramiento de pavés. Elaboración propia



Uso indicado del bloque de vidrio:	Puede usarse tanto en paredes interiores como exteriores
Medidas del bloque de vidrio:	19x19x8 cm
Transmitancia térmica o Valor U del bloque de vidrio:	2,80W/m2K
Aislamiento acústico del bloque de vidrio:	39 dB de aislamiento acústico por pavés
Producto fabricado en:	Cristal

Fig 60. arriba. Ficha técnica de pavés ondulado transparente neutro novo. Autor: Mundopavés SL

$U_w = 2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$

HOJA COMPONENTES - Resumen acristalamientos y marcos

Acristalamiento				Marcos de ventana									
ID	Descripción	Valor g	Valor-Ug	ID	Descripción	Izquierda	Derecha	Abajo	Arriba	Ancho del marco	Derecha	Abajo	Arriba
			W/(m²K)			W/(m²K)	W/(m²K)	W/(m²K)	W/(m²K)	m	m	m	m
01ud	ventana vertical	0,50	2,80	01ud	marcos e. superior	5,70	5,70	5,70	5,70	0,100	0,110	0,110	0,110
02ud	cúpula bivalva	0,50	2,28	02ud	cúpula bivalva	0,480	0,480	0,480	0,480	0,000	0,000	0,000	0,000
03ud	paves	0,50	2,80	03ud	paves	2,73	2,73	2,73	2,73	0,000	0,000	0,000	0,000

Fig 61. Resumen datos acristalamientos y marcos en PHPP. Autor: Elaboración propia

CÁLCULO DE PUENTES TÉRMICOS

“El Código Técnico de la Edificación, en su Documento Básico HE, sección HE1, define puente térmico como aquella zona de la envolvente térmica del edificio en la que se evidencia una variación de la uniformidad de la construcción (...) que conllevan una minoración de la resistencia térmica respecto al resto del cerramiento.”³⁶

Métodología de cálculo: En el CTE existen dos formas aprobadas por la norma de cálculo de PTs :

MÉTODO DETALLADO:

El método exige obtener la suma de los valores ψ y longitudes de cada puente térmico para obtener la componente bidimensional del flujo de calor, así como la suma del producto de las superficies y transmitancias térmicas de la envolvente, considerada con un comportamiento unidimensional.

MÉTODO SIMPLIFICADO: Los valores de ψ_j se igualan para cada grupo de encuentros según las características generales del detalle.

En nuestro caso escogemos calcularlos mediante el **método detallado**, ya que, en proyectos de rehabilitación, es una parte del trabajo en el que conviene ser riguroso a la hora de mejorar el comportamiento energético del edificio. Así que, en caso de querer utilizar el trabajo como base para una futura rehabilitación certificada, es un punto importante a tener en cuenta.

DATOS NECESARIOS A INCLUIR EN EL PROGRAMA PHPP:

Ψ_e = transmitancia térmica lineal (W/m²K)

Sumatorio de la superficie lineal del puente térmico (m)

NOTA: En las tablas para cálculo de puentes térmicos vienen como resultado los valores Ψ que es la transmitancia térmica lineal resultante según la tipología de puente térmico. Los valores Ψ , en las tablas, vienen diferenciados entre Ψ_e y Ψ_i que depende de las dimensiones exteriores o interiores de los muros.

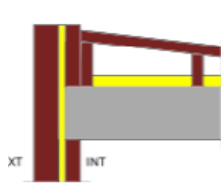
En nuestro caso, la herramienta PHPP basa el cálculo siempre en referencia a unidades exteriores de muros, por lo que se utilizan los valores Ψ_e .

³⁶ Código Técnico de la edificación - DA DB-HE / 3 Puentes térmicos, enero 2014, p.2

ESTRATO SUPERIOR

5.8 Cubiertas planas

Grupo 1: Cubiertas planas con continuidad entre el aislamiento de fachada y el de cubierta



	U_{muro} [W/m ² K]	Ψ_e [W/mK]				
		$U_{cubierta}$ [W/m ² K]				
		0,50	0,38	0,28	0,28	0,28
	0,73	0,03	0,04	0,05	0,05	0,05
	0,44	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06
	0,31	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06
	0,27	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06
	0,24	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06

Fig 62. Detalles encuentros en cubierta y valores Ψ .

Fuente: CTE- DA DB-HE. p. 27

$U_{cubierta} = 0,701$ W/m²K

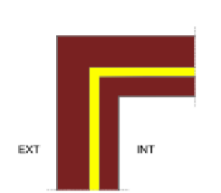
$U_{muro} = 0,525$ W/m²K

$\Psi_e = 0,028$ W/mK (valor interpolado)

superficie lineal: 46m (perímetro cubierta)

5.9 Esquinas

Grupo 1: Esquinas salientes (al exterior)



	U_{muro} [W/m ² K]	Ψ_e [W/mK]	Ψ_i [W/mK]
		0,73	0,11
	0,44	-0,15	0,08
	0,31	-0,11	0,06
	0,27	-0,10	0,06
	0,24	-0,10	0,05

Fig 63. Detalle encuentro en esquina y valores Ψ .

Fuente: CTE- DA DB-HE. p. 29

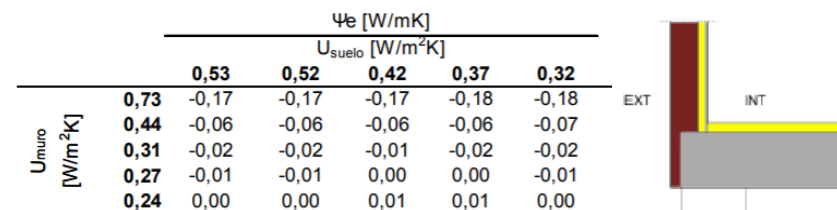
$U_{muro} = 0,52$ W/m²K

$\Psi_e = -0,17$ W/mK (valor interpolado)

superficie lineal: 3x4 = 12 m

5.10 Forjados inferiores en contacto con el aire exterior

Grupo 1: Forjados inferiores en contacto con el aire con aislamiento sobre el forjado o con continuidad entre el aislamiento de fachada y del forjado



	U_{muro} [W/m ² K]	Ψ_e [W/mK]				
		U_{suelo} [W/m ² K]				
		0,53	0,52	0,42	0,37	0,32
	0,73	-0,17	-0,17	-0,17	-0,18	-0,18
	0,44	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,07
	0,31	-0,02	-0,02	-0,01	-0,02	-0,02
	0,27	-0,01	-0,01	0,00	0,00	-0,01
	0,24	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00

Fig 64. Detalle encuentro fachada y forjado y valores Ψ .

Fuente: CTE- DA DB-HE. p. 32

$U_{suelo} = 0,66$ W/m²K

$U_{muro} = 0,52$ W/m²K

$\Psi_e = -0,09$ W/mK (valor interpolado)

superficie lineal: 4x11,5m= 46m

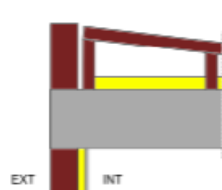
ESTRATO INFERIOR

NOTA: Para el cálculo de los puentes térmicos del estrato inferior, habría que diferenciar la transmitancia térmica de las fachadas que están en contacto con el terreno y las que no. En nuestro caso la diferencia es despreciable, por lo que se usa del lado de la seguridad la más desfavorable, que es la enterrada:

$U_{\text{exterior}} = 0,572 \text{ W/m}^2\text{K}$ $U_{\text{enterrada}} = 0,585 \text{ W/m}^2\text{K}$

5.8 Cubiertas planas

Grupo 2: Cubiertas planas sin continuidad entre el aislamiento de fachada y el de cubierta



	U_{muro} [W/m ² K]	Ψ_e [W/mK]				
		U_{cubierta} [W/m ² K]				
		0,50	0,38	0,28	0,28	0,28
	0,73	0,58	0,64	0,69	0,69	0,69
	0,44	0,62	0,68	0,73	0,73	0,73
	0,31	0,60	0,66	0,71	0,71	0,71
	0,27	0,58	0,64	0,69	0,69	0,69
	0,24	0,56	0,62	0,67	0,67	0,67

Fig 65. Detalle encuentro en cubierta y valores Ψ .

Fuente: CTE- DA DB-HE. p. 28

CUBIERTA VEGETAL

$U_{\text{cubierta vegetal}} = 0,56 \text{ W/m}^2\text{K}$

$U_{\text{muro}} = 0,585 \text{ W/m}^2\text{K}$

$\Psi_e = 0,53 \text{ W/mK}$ (valor interpolado)

superficie lineal: 36,17 m

CUBIERTA GRES

$U_{\text{cubierta gres}} = 0,79 \text{ W/m}^2\text{K}$

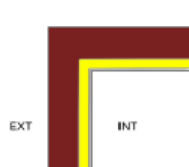
$U_{\text{muro}} = 0,585 \text{ W/m}^2\text{K}$

$\Psi_e = 0,6 \text{ W/mK}$ (valor interpolado)

superficie lineal: 60,6 m

5.9 Esquinas

Grupo 1: Esquinas salientes (al exterior)



	U_{muro} [W/m ² K]	Ψ_e	Ψ_i
		[W/mK]	[W/mK]
		0,73	-0,24
	0,44	-0,15	0,08
	0,31	-0,11	0,06
	0,27	-0,10	0,06
	0,24	-0,10	0,05

Fig 66. Detalle encuentro en esquina y valores Ψ .

Fuente: CTE- DA DB-HE. p. 29

$U_{\text{muro e. inferior}} = 0,585 \text{ W/m}^2\text{K}$

$\Psi_e = -0,17 \text{ W/mK}$ (valor interpolado)

superficie lineal: 27,22 m

Grupo 2: Esquinas entrantes (al interior)



	U_{muro} [W/m ² K]	Ψ_e	Ψ_i
		[W/mK]	[W/mK]
		0,73	0,18
	0,44	0,12	-0,11
	0,31	0,09	-0,08
	0,27	0,08	-0,08
	0,24	0,08	-0,07

Fig 67. Detalle encuentro en esquina y valores Ψ .

Fuente: CTE- DA DB-HE. p. 29

$U_{\text{muro e. inferior}} = 0,585 \text{ W/m}^2\text{K}$

$\Psi_e = 0,17 \text{ W/mK}$ (valor interpolado)

superficie lineal: 13,82

5.11 Suelos en contacto con el terreno

Grupo 2: Suelos en contacto con el terreno sin continuidad entre el aislamiento de fachada y de solera

		Ψ_e [W/mK]				
		U_{solera} [W/m ² K]				
		0,53	0,52	0,42	0,37	0,32
U_{muro} [W/m ² K]	0,73	0,09	0,09	0,08	0,07	0,06
	0,44	0,15	0,15	0,14	0,14	0,12
	0,31	0,18	0,18	0,17	0,16	0,15
	0,27	0,18	0,18	0,18	0,17	0,16
	0,24	0,19	0,19	0,18	0,18	0,17

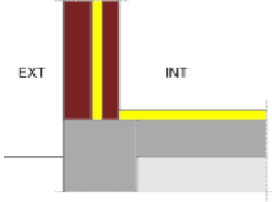


Fig 68 Detalle encuentro cerramiento-solera y valores Ψ . Fuente: CTE- DA DB-HE. p. 32

$U_{suelo} = 0,664$ W/m²K

$U_{muro} = 0,58$ W/m²K

$\Psi_e = 0,13$ W/mK (valor interpolado)

superficie lineal: 110,2 m

5.5 Alféizares

Grupo 3: Alféizares sin continuidad entre el aislamiento de fachada y la carpintería, con gran separación entre ellos

		Ψ_e [W/mK]				
		U_{marco} [W/m ² K]				
		5,7	4,0	3,2	2,2	1,8
U_{muro} [W/m ² K]	0,73	0,43	0,39	0,40	0,42	0,42
	0,44	0,46	0,43	0,44	0,45	0,46
	0,31	0,48	0,45	0,45	0,47	0,48
	0,27	0,49	0,45	0,46	0,48	0,48
	0,24	0,49	0,46	0,47	0,48	0,49

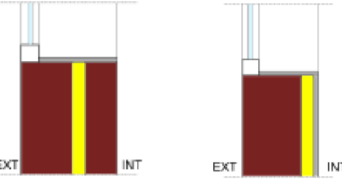


Fig 69 Detalle encuentro cerramiento-solera y valores Ψ . Fuente: CTE- DA DB-HE. p. 37

CERRAMIENTO DE DOBLE HOJA.
ESTRATO INFERIOR

$U_{marco} = 5,7$ W/m²K

$U_{muro} = 0,585$ W/m²K

$\Psi_e = 0,45$ W/mK (valor interpolado)

CERRAMIENTO DE UNA HOJA. ESTRATO
SUPERIOR

$marco = 5,7$ W/m²K

$U_{muro} = 0,52$ W/m²K

$\Psi_e = 0,44$ W/mK (valor interpolado)

NOTA: Al crear el modelo 3d, no se hizo distinción entre las ventanas del estrato superior, sólo se crearon los grupos: pavés, cúpula bivalva y ventanas horizontales. Por lo que del lado de la seguridad se coge el valor más alto. $\Psi_e = 0,45$ W/mK

HOJA TERRENO

Para la identificación del terreno se consigue el estudio geotécnico de una parcela que está a unos metros de la casa Domínguez y la composición del suelo la clasificaba como: **Granito grado V. Arenas limosas**. A partir de 2m aumenta de compacidad media a muy densa.

Por lo que se decide escoger **Roca** como tipo de terreno según la clasificación del manual PHPP.

Tabla 11: Conductividad térmica y capacidades caloríficas referidos al volumen según el tipo de terreno.

Tipo de terreno	Conductividad térmica λ [W/(mK)]	Capacidad calorífica referida al volumen ρc [MJ/(m³K)]
Limo / arcilla	1.5	3
Turba	0.4	3
Arena seca / gravilla	1.5	1.5
Arena húmeda / gravilla, arcilla húmeda	2	2
Arcilla saturada	3	3
Roca	3.5	2

Fig 70. Cuadro de clasificación de terrenos del manual PHPP. Autor: Passivhaus Institut

Pérdidas de calor a través del terreno

Casa Pasiva con PHPP Versión 9.6a

Casa Domínguez / Clima: Pontevedra / SRE: 418 m² / Calefacción: 113,6 kWh/(m²a) / Refrigeración: 4,9 kWh/(m²a) / PER: 388,9 kWh/(m²a)

Sección del edificio 1

Características del terreno Conductividad térmica λ 3,5 W/(mK) Capacidad térmica ρc 2,0 MJ/(m³K) Profundidad de penetración periódica δ 4,19 m		Datos climáticos Temp. media interior en invierno T_i 20,0 °C Temp. media interior en verano T_i 25,0 °C Temp. media superficie del terreno $T_{ter,med}$ 16,2 °C Amplitud $T_{e,promedio}$ $T_{ter,\Delta}$ 5,5 °C Cambio de fases de $T_{e,m}$ τ 1,4 Meses Duración del periodo de calefacción n 3,4 Meses Grados-hora de calefacción, exterior G_e 26,3 kWh/a	
Datos del edificio Superficie de losa de piso / entrepiso de sótano A 255,5 m² Longitud perimetral P 981,0 m valores característicos elem. cons. horizontal B' 0,52 m		Valor-U solera o losa / techo sótano $U_{l,s,fs}$ 2,500 W/(m²K) PTs solera o losa / techo sótano $\Psi_{s'}^{*1}$ 0,13 W/K Valor-U solera o losa / techo sótano incl. PT $U_{l,s,fs}'$ 2,501 W/(m²K) Espesor efectivo del piso d_t 1,40 m	
Tipo de losa de piso / solera (marcar sólo un campo) <input checked="" type="checkbox"/> Losa de piso / solera en contacto con el terreno			
Espesor / profundidad aislamiento perimetral D 0,08 m Espesor aislamiento perimetral d_n 0,04 m Conductividad térmica aislamiento perimetral λ_{borde} 0,041 W/(mK)		Posición del aislamiento perimetral Horizontal <input checked="" type="checkbox"/> x Vertical <input type="checkbox"/>	

Temperaturas del terreno mensuales para cálculo de método mensual (todos los elementos constructivos)

Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Valor medio
Invierno	13,6	12,7	12,9	14,3	16,4	18,6	20,4	21,3	21,0	19,7	17,6	15,4	17,0
Caso verano	14,6	13,7	14,0	15,3	17,4	19,6	21,5	22,3	22,1	20,7	18,6	16,4	18,0

Temperatura de cálculo del terreno para hoja 'Carga-C'

12,7

Para hoja 'Carga-R'

22,3

Factor de reducción para hoja 'Calefacción anual'

0,60

Fig 71.. Captura de pantalla de la hoja-TERRENO en PHPP. Autor: Elaboración propia

Tras la introducción del clima y las características del terreno, se extrae la temperatura media mensual del terreno para su uso en el cálculo de la carga de calefacción y refrigeración que necesita la vivienda.

HOJA SOMBRAS

Un elemento muy importante a la hora de calcular las ganancias solares es el **factor de sombreamiento**.

Por un lado podemos ver el potencial máximo de ganancias solares de la ventana en la hoja “ventanas”. Aquí no se tiene en cuenta ningún elemento de sombreamiento, se calcula la superficie de acristalamiento y sus ganancias en función de su orientación.

Pero sabemos que esto no es real porque existen otros edificios alrededor, vegetación, o el propio edificio, que pueden arrojar sombra sobre nuestras ventanas. Todos esos elementos son los que se tienen en cuenta con el factor de reducción por sombreamiento. Es un salto entre la capacidad abstracta de introducir ganancias solares y lo que realmente pasa.

Factor de reducción adicional para sombreamiento en invierno	Factor de reducción adicional para sombreamiento en verano	Factor de reducción para protección solar temporal
$r_{otro,i} [\%]$	$r_{otro,v} [\%]$	$z [\%]$
21%	21%	30%
20%	20%	30%
19%	37%	30%
11%	45%	30%
18%	24%	30%
23%	28%	30%
52%	43%	30%
46%	41%	30%
39%	57%	30%

La importación de datos de DesignPH junto con los datos climáticos, adjudica a cada ventana un factor de reducción solar para invierno y otro para el verano, se puede observar cómo en las ventanas del sur, debido al Plátano, el factor de reducción aumenta considerablemente con respecto al invierno.

Fig 72. Captura de pantalla de los factores de reducción en PHPP. Autor: Elaboración propia

Por último tenemos el **factor de reducción para protección solar temporal**, es decir: persianas, toldos, cortinas....



Según el manual PHPP para una persiana adjudicaba una reducción de un 50% ³⁷ por lo que se hace una estimación para las persianas venecianas de un 30% ya que no tienen la misma opacidad.

Fig 73. Detalle persianas venecianas de la casa Domínguez. Autor: Elaboración propia

37

Este cuadro representa la media de factores de reducción según la orientación del acristalamiento.

Orientación	Acristalamiento superficie [m²]	Factor de reducción invierno r_v	Factor de reducción refrigeración $r_{v,1}$	Factor de reducción carga refrig. $r_{v,2}$	Carga solar [kWh/(m² _{Acrist.a})]
Norte	9,83	80%	51%	43%	100
Este	22,87	64%	41%	35%	170
Sur	18,63	70%	45%	38%	301
Oeste	12,67	90%	60%	51%	419
Horizontal	0,69	64%	38%	32%	388

Fig 74. Captura de pantalla de los factores de reducción en las ventanas PHPP. Autor: Elaboración propia

VENTILACIÓN

En edificios diseñados con criterios y tecnologías propios del estándar Passivhaus se insertan en el diseño dispositivos de ventilación mecánica ya que, al tener una envolvente hermética, gracias a estos dispositivos, la necesidad de ventilación a través de las ventanas se reduce y por lo tanto, se pierde mucha menos energía acumulada en los cerramientos.

Estos dispositivos funcionan con recuperadores de calor, que antes de extraer el aire viciado recuperan el calor producido por personas o electrodomésticos y precalientan el aire limpio al ser impulsado de nuevo a la vivienda.

En nuestro caso, la casa no cuenta con ningún dispositivo de ventilación mecánica, así que en la hoja de excel de ventilación se selecciona el apartado:

“Tipo de ventilación” n°3- Ventilación por ventanas.

Los demás datos a tener en cuenta en el apartado de ventilación como por ejemplo, las superficies de referencia energética (291 m²), el volumen del aire a ventilar (728m³) o la altura de las estancias (2,5m), no ha sido necesario calcularlos, ya que se insertan automáticamente al haber realizado el modelo 3d asociado al plugin designPH.

Superficie de referencia energética A_{SRE}

Altura de la habitación h

Volumen de aire interior ventilación ($A_{SRE} \cdot h$) : V_V

m²	418	
m	2,50	2,50
m³	1045	

Tipo de ventilación

Por favor seleccione

3-Sólo ventilación por ventanas

Fig 75. Captura de pantalla de la hoja ventilación en PHPP. Autor: Elaboración propia

REFRIGERACIÓN

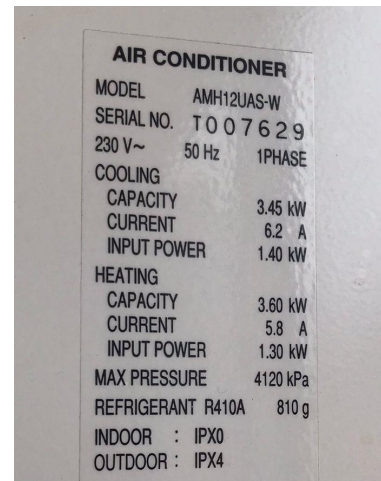


Fig 76 y 77 Aire acondicionado mini-split y datos técnicos. Autor: Elaboración propia

☒ Refrigeración del aire en circulación

Marcar, si procede

- Funcionamiento de ciclo operativo (marcar con 'x')
- Capacidad de refrigeración máx. (sensible + latente)
- Volumen de aire en potencia nominal
- Reducción de temperatura bulbo seco
- Volumen de aire variable (marque con 'x' si aplica)
- Relación de eficiencia energética estacionaria

3,5	kW
800,0	m³/h
12,7	K
2,5	

Fig 78 Captura PHPP hoja aparatos de refrigeración. Autor: Elaboración propia

En la hoja del PHPP de aparatos de refrigeración se insertan los datos extraídos de los datos técnicos originales del aire acondicionado de la Casa Domínguez, que se trataba de un mini-split de 3500W de capacidad de refrigeración. Después se comprueba que cumpla las condiciones de frecuencia de sobrecalentamiento y la demanda de refrigeración en la hoja-verano.

Frecuencia de sobrecalentamiento $h_3 \geq 8\text{máx}$

4,4%

en base al límite establecido $9_{\text{máx}} = 25^\circ\text{C}$

Cuando la "frecuencia sobre 25°C " rebasa el 10%, son necesarias otras medidas de protección contra calor en el verano.

Fluctuación diaria de temperatura interior

Transmisión kW/hd	Ventilación kW/hd	Carga solar kW/hd	η_k	Capacidad específica Wh/(m²K)	A_{SRE} m²	
(107,4	+ 23,3	+ 79,3) *	1000	/ (132	* 418) = 3,8 K

energía

Demanda de refrigeración Q_{REF}

$$Q_G - Q_{P,aprov} = 2084 \quad \text{kWh/a} \quad \text{kWh/(m²a)} \quad 5$$

Valor máx. recomendado

kWh/(m²a)

15

¿Requerimiento cumplido?

(Si/No)

Sí

Fig 79 Captura PHPP con los datos de refrigeración en la hoja verano. Autor: Elaboración propia

INSTALACIÓN DE ACS

En la vivienda el abastecimiento de ACS se produce con una caldera de marca Viessmann modelo “duo parola speicher eh” con fecha de 1976, año en que se acabó la construcción de la vivienda, al igual que en la refrigeración, los datos en cuanto a la potencia, eficiencia, espesores de los conductos, etc se extraen de la visita a la Casa Domínguez directamente de los datos de la caldera y de la bomba de calor.



Fig 80 izquierda Caldera de Gasoil de 1976. Autor: Elaboración propia

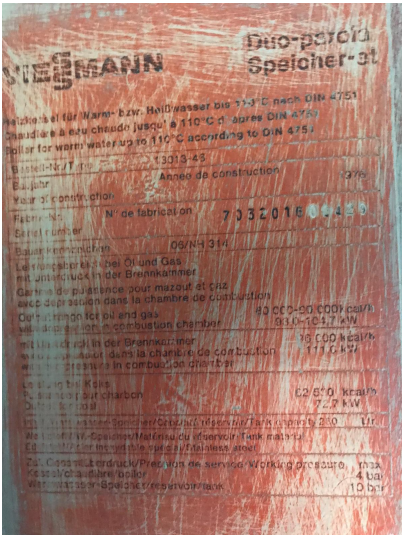


Fig 81 medio Datos de la aldera de Gasoil de 1976. Autor: Elaboración propia



Fig 82 Bomba de calor con datos técnicos . Autor: Elaboración propia

Tipo de generador de calor	13-Caldera gasoil		
Combustible	20-Gasóleo		
Factores PER (energía primaria renovable)	(Hoja de cálculo 'Datos')	2,30	kWhPER/kWhFinal
Factores EP (energía primaria no renovable)	(Hoja de cálculo 'Datos')	1,10	kWhEP/kWhFinal
Factor de emisiones de CO ₂ (CO ₂ -equivalente)	(Hoja de cálculo 'Datos')	0,320	g/kWh
Calor útil aportado	Q _{uso}	58737	kWh/a
Potencia máx. de calefacción para calentar el edificio	P _{calEdif} (Hoja de cálculo 'Carga-C')	18,35	kW
Duración del periodo de calefacción	t _{BC}	2446	h
Duración del periodo de ACS	t _{AF}	8760	h
¿Utilizar los valores característicos (en su caso marcar con una 'x')?			
x			
Potencia nominal	P _{nom} (Placa del tipo)	105 kW	18 kW
Ubicación de la calentador (exterior: 0, interior: 1)		1	0
			105
			1

Fig 83 arriba. Captura de la hoja "Caldera" del PHPP. Autor: Elaboración propia

Fig 84 Captura de la hoja "electricidad" del PHPP. Autor: Elaboración propia

Instalación de ACS

Introducción de datos de la potencia media de la bomba	40	W
Bomba de circulación ACS	1	40 W
Introducción de datos de la potencia nominal de la bomba	40	W
Bomba de carga de acumulador/tanque de ACS	1	40 W

06. Resultados

Una vez terminamos de insertar datos en las diferentes hojas de excel de PHPP, y este nos informa de que no existen errores en el programa, ejecuta automáticamente el cálculo y podemos ver diferentes gráficos que nos muestran el análisis del balance energético de la casa. En nuestro caso, estos son los resultados obtenidos:

RELACIÓN ENTRE PÉRDIDAS Y GANANCIAS POR VENTANAS

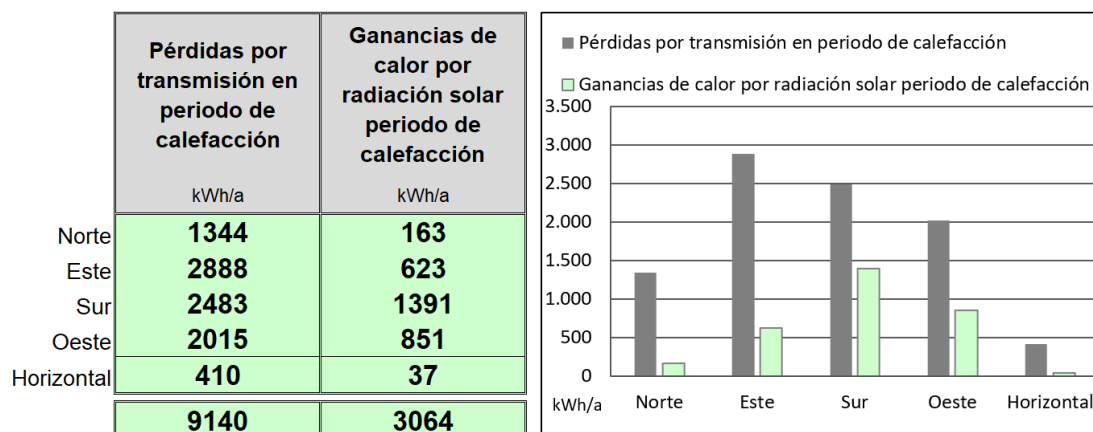


Fig 85. Gráfico de la relación entre pérdidas y ganancias por ventanas en PHPP. Autor: Elaboración propia

Como podemos observar en la figura 85, menos en las ventanas de la orientación sur, las pérdidas de calor en kWh anuales suponen más del doble de las ganancias de calor.

Considerando la buena orientación de la vivienda, la cantidad de ventanas con las que cuenta, sumadas al generoso tamaño de las ventanas en el estrato superior, podemos dar por hecho que si la vivienda no se nutre de ganancias solares, es debido a la anticuada tecnología tanto de los marcos, como de los vidrios de las ventanas, que resultan provocar más pérdidas que ganancias.

DEMANDA DE CALEFACCIÓN ANUAL

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Año	
Grados-hora de calefacción, exterior	7,5	6,3	5,5	4,9	3,0	0,9	-0,4	-0,6	0,7	3,0	5,5	7,0	43	kKh
Grados-hora de calefacción, terreno	5,0	5,1	5,4	4,3	2,8	1,0	-0,3	-1,0	-0,8	0,2	1,8	3,6	27	kKh
Pérdidas hacia el exterior	8540	7124	6212	5525	3349	973	-498	-659	802	3412	6241	7955	48976	kWh
Pérdidas hacia el terreno	1343	1381	1473	1152	758	281	-87	-273	-210	65	482	966	7331	kWh
Total de pérdidas específicas	23,6	20,3	18,4	16,0	9,8	3,0	-1,4	-2,2	1,4	8,3	16,1	21,3	134,7	kWh/m²
Ganancias solares - norte	44	56	90	116	144	173	168	130	95	70	48	39	1172	kWh
Ganancias solares - este	147	238	382	489	608	666	694	638	432	290	176	133	4892	kWh
Ganancias solares - sur	470	494	586	512	477	452	493	578	602	529	482	406	6081	kWh
Ganancias solares - oeste	257	297	427	482	506	567	593	577	487	350	281	209	5032	kWh
Ganancias solares - horizontal	10	13	22	27	33	37	38	34	25	16	11	8	273	kWh
Ganancias solares - opaco	353	458	717	866	1024	1140	1176	1077	830	561	389	301	8891	kWh
Ganancias internas de calor (GIC)	691	624	691	668	691	668	691	691	668	691	668	691	8130	kWh
Total de ganancias específicas solares+internas	4,7	5,2	7,0	7,6	8,3	8,9	9,2	8,9	7,5	6,0	4,9	4,3	82,4	kWh/m²
Grado de aprovechamiento	99%	99%	97%	95%	81%	33%	100%	100%	19%	86%	98%	99%	55%	
Demanda de calefacción	7922	6350	4863	3691	1274	30	0	0	3	1316	4706	7145	37299	kWh
Demanda específica de calefacción	18,9	15,2	11,6	8,8	3,0	0,1	0,0	0,0	0,0	3,1	11,3	17,1	89,2	kWh/m²

Fig 86. Valores mensuales de calefacción anual en PHPP. Autor: Elaboración propia

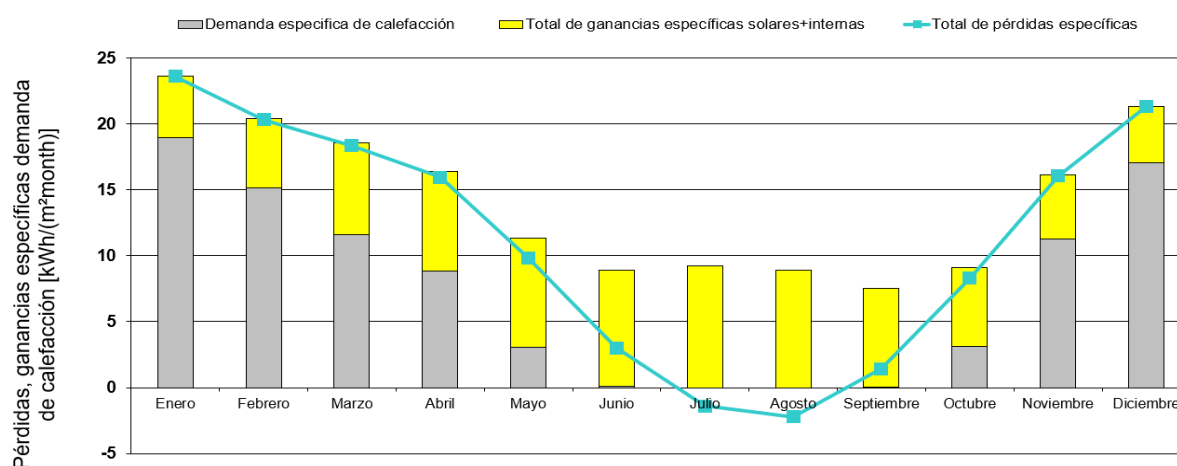


Fig 87. Gráfico mensual de relación entre demanda de calefacción y ganancias solares en PHPP. Autor: Elaboración propia

La figura 87, nos muestra la relación mensual entre la demanda de calefacción y las ganancias solares e internas (que pueden provenir de electrodomésticos, caldera o personas).

Aunque las ganancias de energía no son del todo bajas, la demanda de calefacción es tan elevada en los meses de invierno, que todas las ganancias están siendo consumidas para calefactar la casa. Podemos observar por encima de la línea azul que sólo entre los meses de mayo y octubre la vivienda se nutre de estas ganancias de energía. De hecho, las pérdidas de ganancia energética son tan bajas en los meses de verano que el efecto anterior seguramente se invierta y produzca sobrecalentamiento.

Estas estimaciones se corresponden verídicamente con la experiencia de Doña Macamen tras 45 años vividos en la casa.³⁸

Prosiguiendo con la interpretación de los resultados, podemos observar en en la figura 88 la relación entre las pérdidas y las ganancias energéticas anuales. Dicho gráfico nos proporciona información sobre cuáles son los elementos constructivos mediante los que se producen las ganancias y las pérdidas de calor.

Basamos los resultados en un total de flujo de calor de 81,6 kWh/m2a tanto para las pérdidas, como para las ganancias, que son proporcionales entre ellas.

³⁸ Ver entrevista con Doña María del Carmen en Anexos.

BALANCE ENERGÉTICO TOTAL

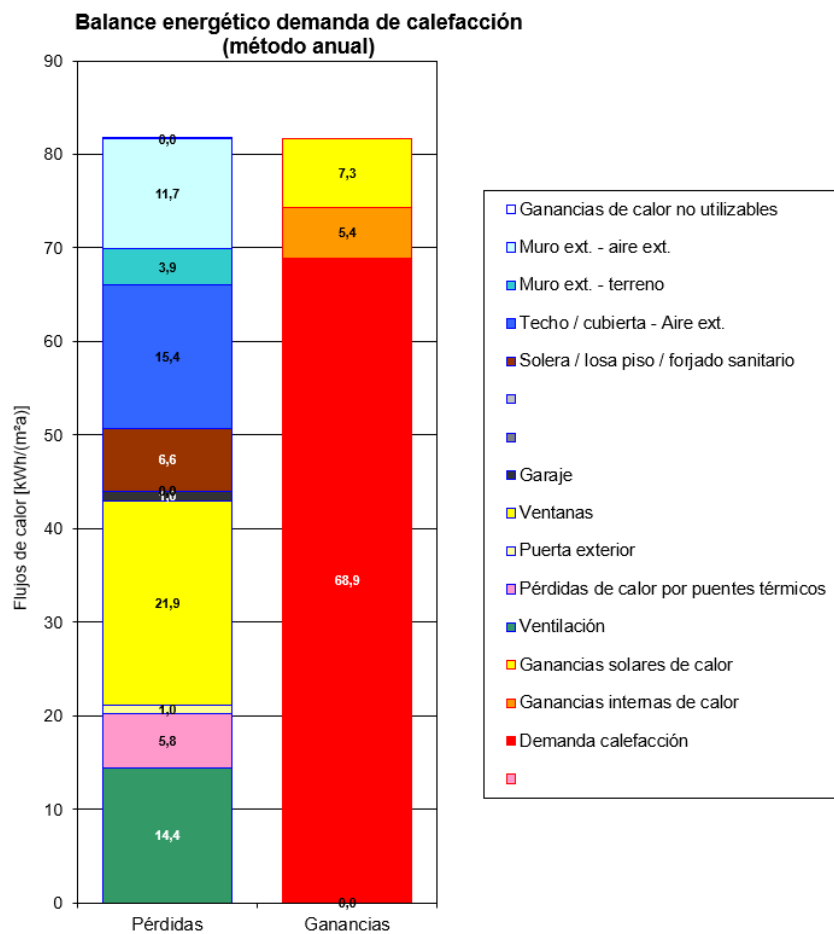


Fig 88. Gráfico mensual de relación entre demanda de calefacción y ganancias solares en PHPP. Autor: Elaboración propia

Analizando los resultados de las pérdidas, son las ventanas las responsables de las mayores pérdidas, siguiéndole las cubiertas y por último, la ventilación y los muros.

Como se comentaba en el análisis de pérdidas-ganancias por las ventanas, se entiende el resultado, dada la mala calidad de las mismas, tratándose de tecnologías del siglo pasado con marcos sin rotura de puente térmico y con una transmitancia muy elevada.

Por otra parte, los valores de transmitancia térmica (U) de los elementos constructivos de la envolvente, eran bastante elevadas en comparación con soluciones constructivas actuales, como las certificadas por el instituto passivhaus. En concreto, las cubiertas, eran el elemento constructivo con mayor transmitancia térmica de la envolvente de la casa, por lo que no es de extrañar, que se trate del segundo elemento que mayores pérdidas de calor produce de la envolvente.

La tercera causa de pérdida de calor es la ventilación. Tratándose de una vivienda con una ocupación de 12 personas, la ventilación en el interior de la vivienda es necesaria para garantizar la calidad del aire interior, por lo que las tasas de renovación del aire por hora debían ser adecuadas a dicha ocupación, pero es también un medio a través del cual se pierde rápidamente el aire interior caliente y se enfrían las superficies internas de la vivienda.

A estos tres medios principales de pérdidas de calor, les siguen las pérdidas a través de los muros exteriores, del garaje y de puentes térmicos.

Por otra parte, en las ganancias, vemos que la mayor parte es debido a la calefacción, esto no es algo bueno, ya que no es una ganancia por métodos naturales, sino, debido a la necesidad de energía provocada por la alta demanda de calefacción; mientras que las ganancias solares son muy bajas y lo que provoca la eficiencia en una vivienda es conseguir un balance dentro de esas ganancias.

En la figura 89, correspondiente a la hoja del PHPP de comprobación, podemos ver los valores finales específicos de la vivienda y si cumple o no los valores de certificación.

En conclusión a los resultados, podemos ver que para mantener unos valores de 20°C durante el año y 25°C en verano, no cumple con los principios para la certificación de una casa Pasiva Classic. Esto es debido a la alta demanda de calefacción, por superar los valores máximos permitidos de hermeticidad y por el elevado consumo eléctrico sin provenir de fuentes de energía renovables. Sin embargo, sí que cumple con las exigencias máximas de sobrecalentamiento, con la carga máxima de refrigeración y con el porcentaje máximo de humedades.

Año construcción:	1975	Temp. interior invierno [°C]:	20,0	Temp. interior verano [°C]:	25,0
Nr. de viviendas:	1	Ganancias internas de calor (GIC): caso calefacción [W/m²]:	2,2	GIC caso refriger. [W/m²]:	4,8
Nr. de personas:	12,0	Capacidad específica [Wh/K por m² de SRE]:	132	Refrigeración mecánica:	x

Valores específicos del edificio con referencia a la superficie de referencia energética							
	Superficie de referencia energética	m²		Criterio	Criterios alternativos	¿Cumplido?²	
Calefacción	Demanda de calefacción	kWh/(m²a)	418,2	≤	15	-	No
	Carga de calefacción	W/m²	39	≤	-	10	No
Refrigeración	Demanda refrigeración & deshum.	kWh/(m²a)	6	≤	23	23	Si
	Carga de refrigeración	W/m²	6	≤	-	10	Si
	Frecuencia de sobrecalentamiento (> 25 °C)	%	5	≤	-	-	Si
	Frecuencia excesivamente alta humedad (> 12 g/kg)	%	0	≤	10	-	Si
Hermeticidad	Resultado ensayo presión n ₅₀	1/h	4,0	≤	0,6	-	No
Energía Primaria no renovable (EP)	Demanda EP	kWh/(m²a)	201	≤	100	-	No
Energía Primaria Renovable (PER)	Demanda PER	kWh/(m²a)	332	≤	-	-	-
	Generación de Energía Renovable (en relación con área de la huella del edificio proyectado)	kWh/(m²a)	-	≥	-	-	-

² Celda vacía: Falta dato; - Sin requerimiento

Confirmando que los valores aquí presentados han sido determinados siguiendo la metodología de PHPP y están basados en los valores característicos del edificio. Los cálculos de PHPP están adjuntos a esta comprobación.

¿Casa Pasiva Classic? **No**

Fig 89. Hoja de comprobación en PHPP. Autor: Elaboración propia

06.1 Optimización de la vivienda

Observando los resultados obtenidos del análisis, en el que se intentó aproximarse al máximo a la realidad del comportamiento térmico de la Casa Domínguez en la actualidad y ver cuáles son los factores que más pérdidas energéticas produce, se investigan posibles cambios con el fin de optimizar la vivienda e intentar reducir el consumo de calefacción anual.

En resumen, los factores clave en cuanto a pérdidas resultaron provenir de:

- La calidad de las ventanas
- La calidad de los elementos constructivos
- La ventilación

VENTANAS

Se empieza por sustituir las ventanas actuales por unas certificadas por el Instituto Passivhaus, para ello se accede a la base de datos de componentes Passivhaus que se puede encontrar en la web: <https://database.passivehouse.com/en/components/>

Se selecciona dentro de los filtros ventanas para climas cálidos-templados y con carpintería de aluminio para intentar cambiar en la menor medida el resultado formal de la vivienda.

Se selecciona la ventana: ALG 75 PASSIVHAUS de la compañía española ALUGOM y clase de eficiencia C, que para nuestro clima debería ser suficiente.

Con marcos de aluminio con rotura de puente térmico y una transmitancia térmica muy baja tanto para el marco como para el vidrio.

$$U_g = 0,90 \text{ W/(m}^2 \text{ K)} \quad U_f = 0,98 \text{ W/(m}^2 \text{ K)} \quad \Psi_g = 0,031 \text{ W/(m K)}$$

En cuanto al cristal de pavés, se consideró que cambiar todo el cerramiento de pavés para sustituirlo por unas cristaleras de alta eficiencia, suponía un cambio formal excesivo y no sería justo con el proyecto original, la otra solución era añadir aislamiento térmico por el interior pero se perdería la translucidez del paramento y también provocaría un cambio formal significativo.

Por lo que finalmente se opta por añadir los nuevos acristalamientos por el interior del cerramiento, conservando así el paso de la luz, ganando aislamiento y manteniendo el aspecto formal de la vivienda.

ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS

ESTRATO SUPERIOR

Se propone añadir en la zona elevada un aislamiento térmico continuo de poliestireno expandido de alta calidad de $\lambda = 0,03$ que rodee el estrato de la siguiente forma:

Se sustituye la cámara de aire de la fachada ventilada de perfiles laminados de acero por una capa de sate de 16 cm, que unidos a los 4cm existentes conformarían un total de 20cm de aislamiento en fachada.

El aislamiento se prolonga por el peto de la cubierta y se pasa por debajo de la jardinera perimetral y continúa por debajo de los plots cerámicos que elevan el acabado de lamas de madera.

En el forjado inferior en contacto con el aire por el exterior, el aislamiento se continúa desde el sate de la fachada bajo los perfiles metálicos que conforman las vigas y se extiende bajo la capa de hormigón aligerado.

En total el estrato superior crecería 16 cm por el peto de la cubierta -que podría reducirse eliminando una fila de ladrillos que conforman el peto- y otros 16 bajo el forjado, lo cual habría que estudiar cómo afectaría formalmente a una casa con tanto valor arquitectónico y en el caso, estudiar otras opciones. Se escoge esta opción ya que dada la continuidad del aislante, mejorará la hermeticidad de la envolvente y por lo tanto mitigará en gran medida las pérdidas por puentes térmicos.

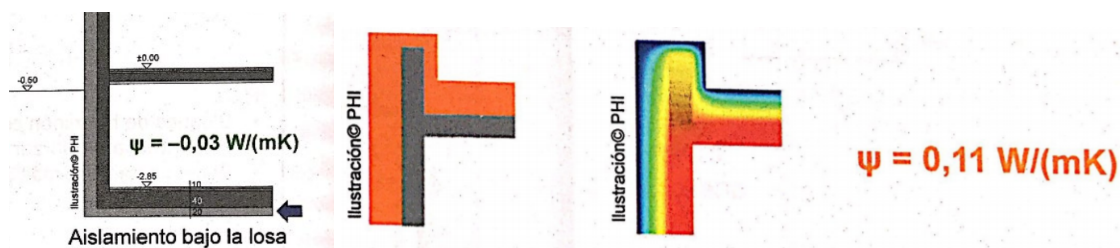


Fig 90. Soluciones constructivas del estándar Passivhaus. Autor: Manual PHPP p.42 y 45

SECCIÓN CONSTRUCTIVA DEL ESTRATO INFERIOR TRAS LAS OPTIMIZACIONES

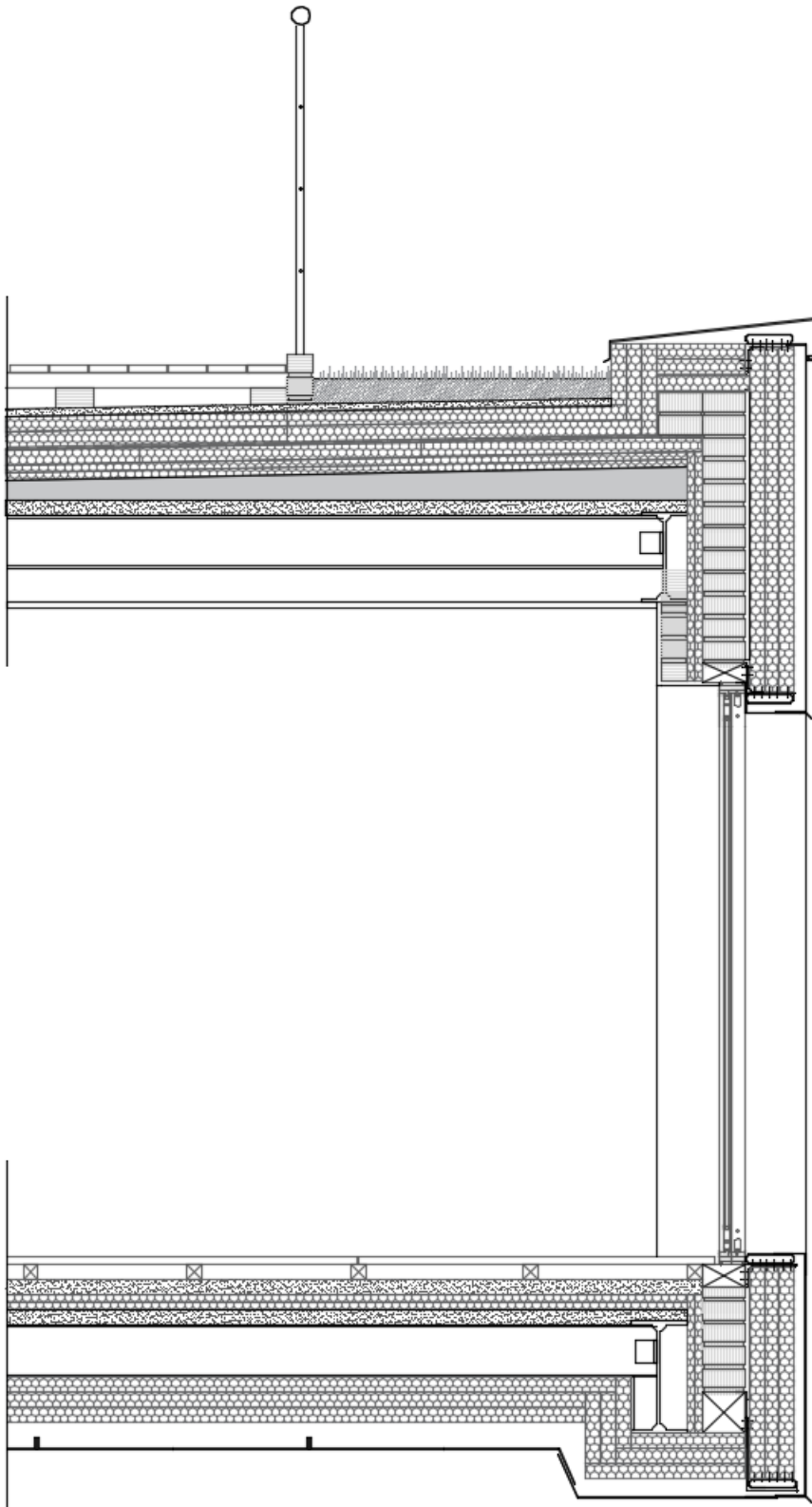


Fig 91. Sección constructiva del estrato superior tras la optimización. Autor: Elaboración propia

ESTRATO SEMIENTERRADO

En cuanto al estrato inferior, de la misma forma, se rodea la envolvente con el aislante.

En la fachada de gres, se sustituye el trasdosado exterior de ladrillo de 14 cm con enfoscado de yeso, por un sate de 14 cm de aislante térmico con protección exterior que sirve como soporte de agarre de las plaquetas de gres, por lo que el espesor de la fachada no variaría. Sumado a los 4cm existentes de aislamiento, contaríamos con 18cm de aislamiento total.

En el caso de la cubierta vegetal no había problema en cuanto aumentar el espesor para añadir el aislante exterior, pero en el caso de la cubierta y a la vez pavimento de gres, se sustituyen las capas de mortero de cemento de 4cm cada una de protección para la lámina impermeabilizante por 8cm del mismo aislante, ya que dadas las tecnologías de aislamientos térmicos certificados de gran rigidez estructural y resistencia a la compresión, conseguimos el mismo resultado en cuanto a protección y rigidez. Con un total de 12 cm de aislante contando con el existente.

Por último se extienden 14cm de aislante bajo la solera de HA, se rodea el aislante por las zapatas y se unen con el sate de la fachada, cerrando el recorrido del aislante y proporcionando hermeticidad al estrato semienterrado.

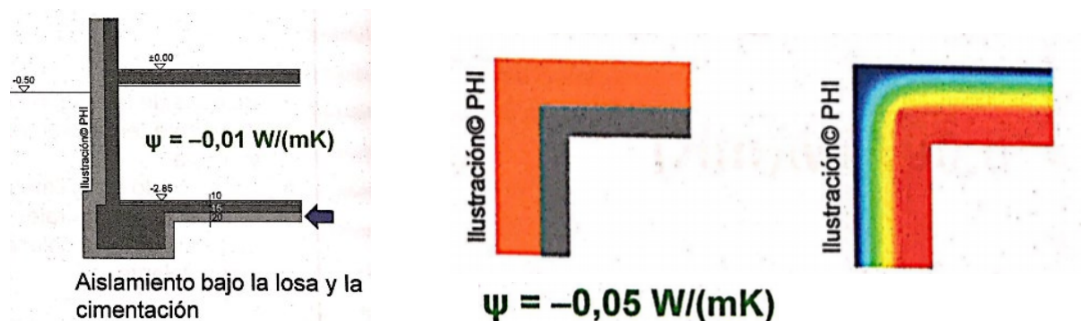


Fig 92. Soluciones constructivas del estándar Passivhaus. Autor: Manual PHPP p.42 y 45

SECCIÓN CONSTRUCTIVA DEL ESTRATO INFERIOR TRAS LAS OPTIMIZACIONES

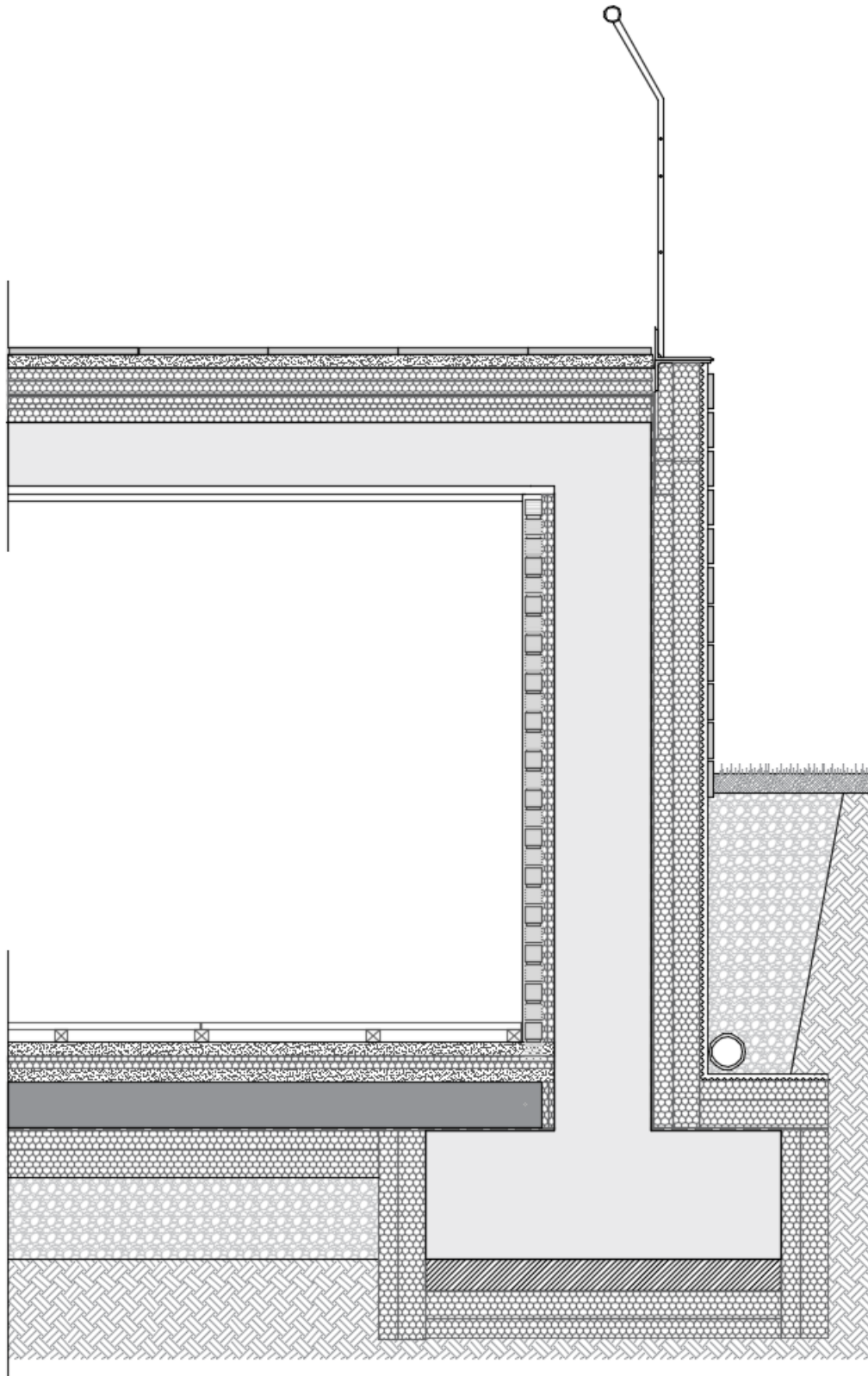


Fig 93. Sección constructiva del estrato inferior tras la optimización. Autor: Elaboración propia

SISTEMA DE VENTILACIÓN MECÁNICA

Por último se agrega un sistema ventilación con recuperador de calor, se elige el modelo AERA Flex de la compañía Schiedel con un valor efectivo de recuperación de calor $\eta_{HR,ef} = 87,6\%$ con colocación dentro de la envolvente térmica dentro de la sala de instalaciones en la planta de acceso.

Situación unidad ventilación **1-Dentro de la envolvente térmica**

Selección aparato ventilación **0660vs03-AERA Flex - Schiedel**

Ir a lista de aparatos de ventilación 1-Ordenar: COMO LISTA		Recuperación de calor RC efectiva
0660vs03-AERA Flex - Schiedel		0,88

Conductancia ducto de admisión	Ψ	W/(mK)	0,167
Longitud del ducto de admisión		m	1,1
Conductancia del ducto de expulsión	Ψ	W/(mK)	0,232
Longitud del ducto de expulsión		m	1,5
Temp. del cuarto de instalaciones		$^{\circ}\text{C}$	
(Sólo introducir en el caso de que la unidad central está fuera de la envolvente térmica)			

Valor efectivo de recuperación de calor $\eta_{HR,ef}$ **87,6%**

Fig 94. Datos de la hoja - ventilación de PHPP. Autor: Autoría propia

CALDERA DE PELLETS

Sólo con estas modificaciones, los cambios en cuanto a relación pérdidas-ganancias ya eran sorprendentes y se conseguían cumplir con varios de los requisitos en cuanto a la certificación de la casa, sin embargo, continuaba teniendo un elevado consumo de energía primaria no renovable.

Este valor era altamente elevado dado el consumo de la caldera de gasoil, que para poder abastecer cómodamente a 12 habitantes de la vivienda es de gran potencia y la eficiencia en cambio, con 45 años de antigüedad, tiene un consumo de gas muy elevado. Por lo que se decide conservar los niveles de potencia y sustituirla por una caldera de combustión de pellets para equilibrar el consumo de energía proveniente de fuentes renovables.

Tipo de generador de calor **31-Combustión de pellets (aporte de calor directo e indirecto)**

Combustible **50-Pellets**

Factores PER (energía primaria renovable)	(Hoja de cálculo 'Datos')	1,10	kWhPER/kWhFinal
Factores EP (energía primaria no renovable)	(Hoja de cálculo 'Datos')	0,20	kWhEP/kWhFinal
Factor de emisiones de CO ₂ (CO ₂ -equivalente)	(Hoja de cálculo 'Datos')	0,025	g/kWh
Calor útil aportado	Q_{uso}	17228	kWh/a
Potencia máx. de calefacción para calentar el edificio	$P_{cal,est}$ (Hoja de cálculo 'Carga-C')	1,94	kW
Duración del periodo de calefacción	t_{BC}	2446	h
Duración del periodo de ACS	t_{AF}	8760	h

¿Utilizar los valores característicos (en su caso marcar con una 'x')? **x**

	Valores específicos del proyecto	Valores estándar	Celda de introducción de datos
Potencia nominal P_{nom} (Placa del tipo)	105 kW	15 kW	105
Ubicación de la calentador (exterior: 0, interior: 1)	1	0	1

Fig 95. Hoja caldera de PHPP. Autor: elaboración propia

06.2 Comparación de resultados tras la optimización

Tras insertar los datos para la optimización de la vivienda de estudio en las hojas de excel de PHPP, estos son los gráficos con los resultados obtenidos:

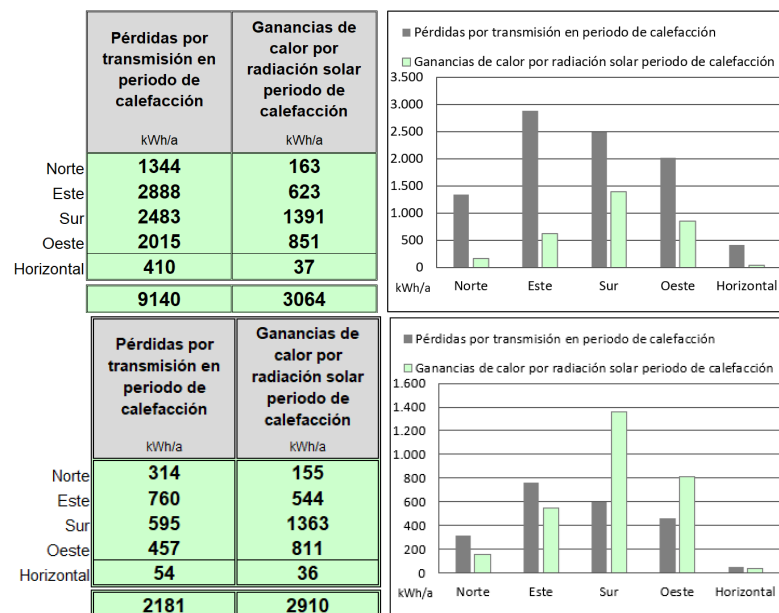
Sistema constructivo	Elemento constructivo	Espesor total	Valor-U	Aislamiento interior
Resumen de los elementos constructivos calculados en la hoja 'Valores-U'		m	W/(m²K)	-
CERRAMIENTO E. SUPERIOR	CERRAMIENTO E. SUPERIOR	0,428	0,138	1
PUERTAS EXTERIORES METÁLICAS	PUERTAS EXTERIORES METÁLICAS	0,047	1,600	0
CUBIERTA ESTRATO SUPERIOR	CUBIERTA ESTRATO SUPERIOR	0,615	0,119	1
CERRADO E. SEMIENTERRADO	CERRADO E. SEMIENTERRADO	0,500	0,150	1
CUBIERTA VEGETAL E. SEMI	CUBIERTA VEGETAL E. SEMI	0,635	0,227	0
CUBIERTA GRES E. SEMI	CUBIERTA GRES E. SEMI	0,410	0,223	0
SUELO E. SUPERIOR	SUELO E. SUPERIOR	0,490	0,146	1
SUELO E. ENTERRADO	SUELO E. ENTERRADO	0,460	0,162	1
CERRAMIENTO E. ENTERRADO	CERRAMIENTO E. ENTERRADO	0,500	0,151	1
Resumen de los elementos constructivos calculados en la hoja 'Valores-U'		m	W/(m²K)	
CERRAMIENTO E. SUPERIOR	CERRAMIENTO E. SUPERIOR	0,298	0,525	
PUERTAS EXTERIORES METÁLICAS	PUERTAS EXTERIORES METÁLICAS	0,047	1,600	
CUBIERTA ESTRATO SUPERIOR	CUBIERTA ESTRATO SUPERIOR	0,405	0,701	
CERRADO E. SEMIENTERRADO	CERRADO E. SEMIENTERRADO	0,490	0,572	
CUBIERTA VEGETAL E. SEMI	CUBIERTA VEGETAL E. SEMI	0,635	0,561	
CUBIERTA GRES E. SEMI	CUBIERTA GRES E. SEMI	0,395	0,734	
SUELO E. SUPERIOR	SUELO E. SUPERIOR	0,330	0,660	
SUELO E. ENTERRADO	SUELO E. ENTERRADO	0,320	0,664	
CERRAMIENTO E. ENTERRADO	CERRAMIENTO E. ENTERRADO	0,490	0,585	

Fig 96. Tabla resumen de valores-U modificados . Autor: Captura de PHPP elaboración propia

Fig 97. Tabla resumen de valores-U originales . Autor: Captura de PHPP elaboración propia

Tras añadir el aislamiento térmico perimetral podemos observar que los valores de transmitancia térmica de los cerramientos llegan a reducir hasta cuatro veces su valor original.

RELACIÓN ENTRE PÉRDIDAS Y GANANCIAS POR VENTANAS



Observando los nuevos resultados en la figura 99, tras el cambio de las ventanas originales por unas de alta eficiencia, en la zona sur y oeste las ganancias superan a las pérdidas, mientras que en la zona norte y este, las pérdidas son un poco mayores. Sin embargo, observando la comparación de los valores totales anuales en kWh/a, podemos ver que las ganancias anuales son mayores que las pérdidas en más de 700 kWh/a.

Comparando ambos gráficos podemos ver como los valores de ganancias y pérdidas prácticamente se invierten, optimizando el comportamiento de las ventanas. Sin embargo, es curioso observar cómo las ventanas originales, a pesar de producir tres veces más pérdidas que ganancias, producían más ganancias que las nuevas ventanas. Este efecto se produce porque al igual que los vidrios y los marcos no permiten el paso del frío, también reducen el paso del calor y por tanto las ganancias solares se reducen. De hecho, existen ventanas que podrían reducir aún más las pérdidas que observamos, pero se trata dependiendo del clima, en encontrar un balance entre las ganancias y las pérdidas de energía.

DEMANDA DE CALEFACCIÓN ANUAL

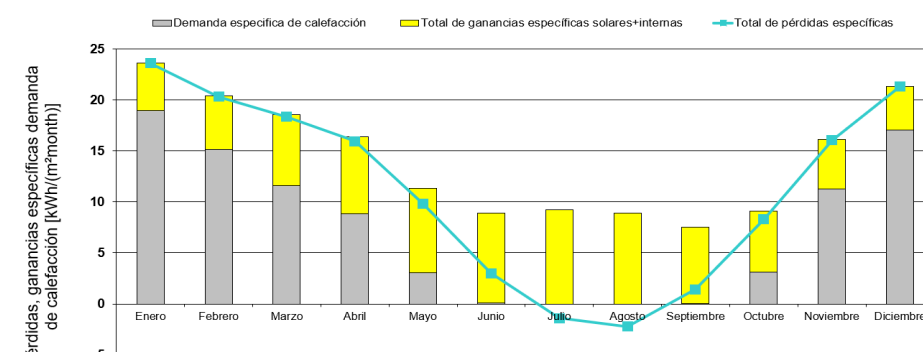


Fig 100 ..Gráfico de pérdidas-ganancias de las ventanas originales. Autor:Elaboración propia

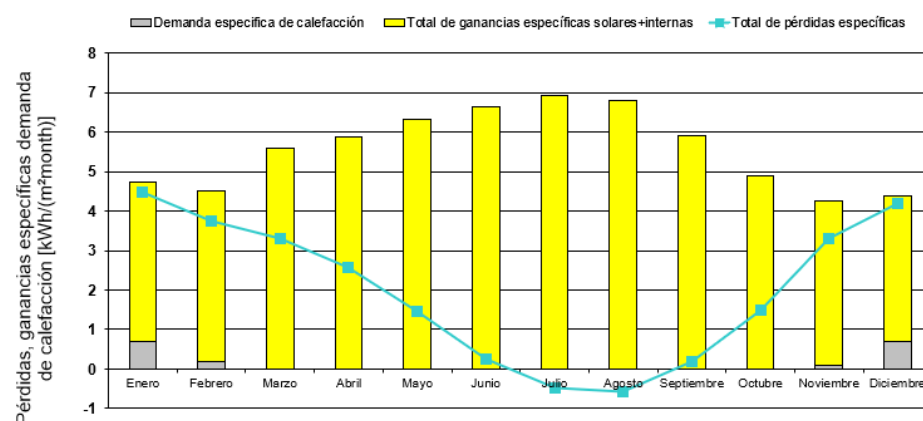


Fig 101 ..Gráfico de pérdidas-ganancias de las ventanas modificadas. Autor:Elaboración propia

Los figuras 100-101 nos muestran la relación mensual entre la demanda de calefacción y las ganancias solares e internas. Podemos ver como menos en los meses de diciembre y enero, las ganancias solares no sólo suplen por completo la baja demanda de calefacción, sino que además, se supe a la vivienda con ganancias de calor durante casi todos los meses del año.

A pesar del clima templado de Pontevedra, esto podría llegar a provocar sobrecalentamiento en algún mes de verano, que, sin embargo, se podría solucionar con unos eficientes elementos de sombreado para no abusar del consumo de aire acondicionado, que de ser así, como se ha incorporado a la vivienda ventilación mecánica con recuperador de calor, no perderíamos el aire frío al ventilar la vivienda.

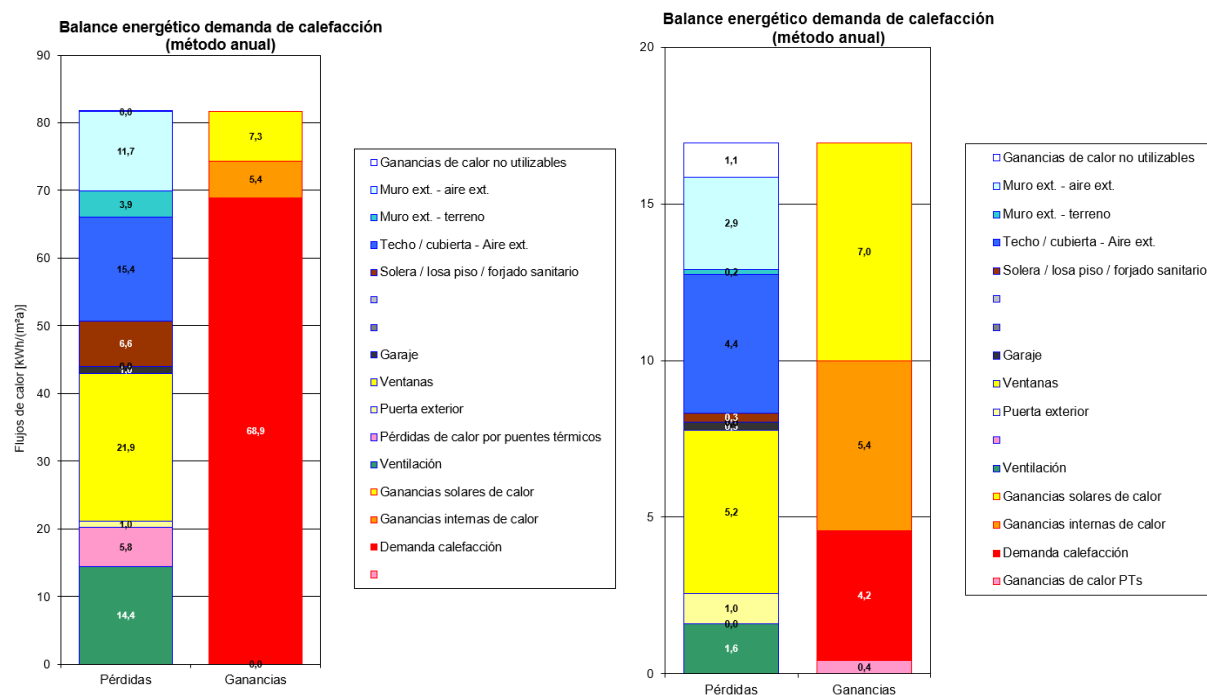


Fig 102. izquierda..Gráfico de relación entre pérdidas-ganancias anuales vivienda original. Autor:Elaboración propia

Fig 103. izquierda..Gráfico de relación entre pérdidas-ganancias anuales tras las modificaciones. Autor:Elaboración propia

El gráfico de la derecha muestra la relación proporcional entre pérdidas y ganancias después de la optimización. En primer lugar, la comparación que más llama la atención entre los dos gráficos, es el nuevo balance energético entre las ganancias. Esto se produce al reducir el valor de las pérdidas de calor que, al ser una relación proporcional, produce la bajada de la demanda de calefacción.

Como se comentaba antes, el valor de ganancias de calor a través de las ventanas era mayor antes de la optimización, pasa de 7,3 a 7, sin embargo, aumenta en relación a las pérdidas, que es el resultado que buscábamos.

En general, podemos ver que todos los valores se han reducido, esto seguramente se produzca por haber menos fluctuaciones de aire entre el exterior y la envolvente, lo que provoca una mejora térmica de la vivienda y un balance energético eficiente.

Finalmente, si nos dirigimos a la hoja comprobación, podemos observar que se consigue certificar la vivienda rehabilitada mediante la certificación Passivhaus Estándar, ya que exige los siguientes principios:

Demanda energética para calefacción $\leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$.	RESULTADO: 2 kWh/(m²a)
Demanda energética para calefacción $\leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$.	RESULTADO: 4 kWh/(m²a)
Hermeticidad al paso del aire $\leq 0,6$ renovaciones/h	RESULTADO: 0,4 /h
Demanda energía primaria total $\leq 120 \text{ kWh}/\text{m}^2$	RESULTADO: 93 kWh/m²
Porcentaje de sobrecalentamiento en verano $\leq 10\%$	RESULTADO: 7,4 %

Valores específicos del edificio con referencia a la superficie de referencia energética				Criterios alternativos		¿Cumplido? ²
Calefacción	Superficie de referencia energética	m²	418,2			
	Demanda de calefacción	kWh/(m²a)	2	15	-	Si
	Carga de calefacción	W/m²	5	-	10	
Refrigeración	Demanda refrigeración & deshum.	kWh/(m²a)	4	15	15	Si
	Carga de refrigeración	W/m²	5	-	10	
	Frecuencia de sobrecalentamiento (> 25 °C)	%	7	-		Si
	Frecuencia excesivamente alta humedad (> 12 g/kg)	%	0	10		Si
Hermeticidad	Resultado ensayo presión n ₅₀	1/h	0,4	0,6		Si
Energía Primaria no renovable (EP)	Demanda EP	kWh/(m²a)	93	100		Si
Energía Primaria Renovable (PER)	Demanda PER	kWh/(m²a)	216	-	-	
	Generación de Energía Renovable (en relación con área de la huella del edificio proyectado)	kWh/(m²a)	-	-	-	-

² Celda vacía: Falta dato; '-': Sin requerimiento

Confirmando que los valores aquí presentados han sido determinados siguiendo la metodología de PHPP y están basados en los valores característicos del edificio. Los cálculos de PHPP están adjuntos a esta comprobación.	¿Casa Pasiva Classic?	Si
---	-----------------------	----

Fig 104. Hoja de comprobación en PHPP que muestra la obtención de la certificación. Autor:Elaboración propia

07 Conclusiones

Se partía con la premisa de realizar un análisis de la Casa Domínguez desde la perspectiva Passivhaus, para conocer la metodología de trabajo a la hora de realizar un análisis energético de una obra de arquitectura del siglo pasado.

Siendo el primer contacto con este método, se valoran las facilidades a la hora de realizar dicho análisis. El Instituto dispone de dos herramientas como son el plugin DesignPH para Sketchup y las hojas PHPP para Microsoft Excel, que permiten una sencilla adjudicación de datos a superficies de un modelo 3D, de forma que, un trámite que podría ser tedioso en cuanto a metodología y control de la información, resulta un proceso claro y organizado.

Se valora también la posibilidad de escoger el alcance de precisión en cuanto a la inserción de datos para dicho análisis, ya que, aunque exige un mínimo de información para poder elaborar el cálculo, existen multitud de herramientas a mayores de las comentadas, para precisar los datos a insertar según las necesidades de análisis de tu proyecto.

En nuestro caso, desde la perspectiva de un primer contacto con este método, se arrojan las siguientes conclusiones en cuanto al proceso realizado para obtener dicho balance energético

Empezando por el modelado 3D, la parte más influyente en el resultado final del análisis, fue sin duda la elección de la envolvente térmica. En nuestro caso se planteaban dos opciones:

Realizar dos análisis diferentes para dos envolventes térmicas: el estrato superior separado del estrato inferior. Se planteaba esta opción ya que los elementos constructivos de ambos estratos son diferentes y por lo tanto, el comportamiento térmico de ambos también lo es.

O por otro lado, realizar el análisis considerando una única envolvente térmica. Esta fue la elección tomada, ya que, aunque seguramente exista una variación térmica entre ambos estratos, las fluctuaciones de aire no disponen de barrera entre ellos. Por lo que, según la metodología Passivhaus, que exige que la envolvente siga una línea continua y cerrada, la primera opción no cumplía con esta premisa.

Siguiendo con las conclusiones en cuanto a las decisiones tomadas en DesignPH, la segunda parte más importante sería el rigor a la hora de agrupar las superficies del modelo según su construcción y según su comportamiento térmico, ya que, a la hora de exportar los datos a PHPP, la información que insertas en el programa se aplica al grupo completo y cualquier superficie mal agrupada podría provocar graves errores en el archivo.

Poniendo un ejemplo, en un principio, se consideró el garaje como parte de la envolvente térmica, ya que los muros, soleras, forjados... tenían las mismas características constructivas que partes de la casa que si pertenecían a la envolvente térmica. Esta decisión provocó unas pérdidas altísimas a la hora de visualizar los resultados en PHPP, ya que las puertas del garaje no tienen la misma instalación, aislamiento, ni dimensiones que por ejemplo, una puerta de entrada, por lo que la fuga de calor es mucho mayor.

La solución tomada fue volver a ejecutar el análisis en DesignPH, considerando el garaje como una zona X, es decir, una zona unida a la envolvente con un porcentaje de pérdidas de calor que resultó ser del 72%.

Por último en cuanto a DesignPH, otro componente que influye considerablemente en el rigor del análisis es el modelado de los elementos de sombreado. Estas geometrías se traducen en PHPP como factores de reducción de calor por sombreado, tanto en el apartado de superficies, como en el de ventanas. En nuestro caso, había ventanas en invierno en las que el factor de reducción solar llegaba a ser del 98%, por lo que, se ha comprobado que es importante considerarlo.

Pasando a las conclusiones relacionadas con la inserción de datos en PHPP, lo primero que se hizo fue calcular la transmitancia térmica de cada paramento y de las ventanas de la vivienda, empezando por un minucioso análisis constructivo de la casa y sobre todo, la aproximación de los valores de conductividad de cada material, siendo conscientes que se trataban de materiales con casi 50 años de antigüedad, con características técnicas, seguramente, más deficientes.

En contraposición a estas dificultades por falta de información, se tiene la suerte de contar con un análisis geotécnico de una parcela vecina a la vivienda para extraer unos datos muy exactos del terreno y también, la gran fortuna de contar con la amabilidad y disposición de Doña María del Carmen, propietaria de la casa, con la que se hizo una entrevista³⁹ y permitió el acceso a la casa para poder recabar datos

³⁹ ver entrevista en anexo

importantes para la precisión del cálculo: fichas técnicas de los elementos de ACS (caldera, bombas de calor.), de refrigeración (aire acondicionado), de deshumidificador, espesores de conductos, número de radiadores y puntos de ventilación....

Doña Macamen, mencionó que cabe destacar que todos los elementos de refrigeración y ACS fueron instalados en el momento de construcción de la casa, es decir, que fueron usados por 12 personas al día por más de 45 años y continúan en perfecto funcionamiento. Además, como es comprensible, menos en cuestiones de eficiencia energética, los valores de potencia, nada tienen que envidiar a aparatos tecnológicos actuales, lo que confirma la dedicación de Alejandro de la Sota en cuanto al estudio de las últimas tecnologías de la época.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

En cuanto al análisis de resultados, como se podía obviar, la vivienda no cumple para unos parámetros de confort de 20° en invierno y 25° en verano, los resultados del balance energético se alejaban mucho de poder certificar la vivienda.

Analizando el gráfico que relaciona las pérdidas y ganancias anuales de forma directamente proporcional, los peores resultados del análisis provenían de las pérdidas de calor, que a la vez, suponían en la columna de ganancias, una elevada ganancia de calor por consumo de calefacción, un valor de ganancia que no es favorable, ya que estas ganancias provienen de fuentes de energía no renovables.

Las ventanas eran las responsables de las mayores pérdidas de calor. Considerando la buena orientación de la vivienda y la cantidad y superficie de ventanas con las que cuenta, si las ganancias solares no son suficientes para mitigar algo el consumo de calefacción, es porque toda la energía ganada a través de ellas, también la perdemos. Y según el análisis estas pérdidas de ganancia solar se producen:

- A través de las mismas ventanas
- A través de las cubiertas y los muros, que eran los paramentos de la vivienda con valores de transmitancia más altos, por lo que otra vez, el resultado resulta coherente.
- A través de la ventilación, ya que al ser una vivienda donde conviven 12 personas, las tasas de renovación del aire interior debían ser proporcionales a la ocupación para garantizar la calidad del aire interior, lo que también supone una pérdida rápida del calor del aire interior.

En general, se considera que el resultado del análisis resulta bastante coherente con los valores obtenidos de transmitancia, puentes térmicos y en general, características de materiales y soluciones constructivas que resultan anticuados en la actualidad.

Una vez obtenidos los resultados finales, se decide extender el alcance del trabajo tratando de mejorar el balance energético de la vivienda. Basamos los cambios para conseguir esta optimización en los elementos con peores resultados del análisis. Estos fueron los elementos considerados y sus correspondientes optimizaciones:

- La calidad de las ventanas.
Se sustituyen las ventanas actuales por unas certificadas por el Instituto Passivhaus apropiadas para el clima cálido-templado de Pontevedra.
- La elevada transmitancia de los elementos constructivos.
Tanto en el estrato superior como en el inferior, se rodea la envolvente por el exterior con un aislante de poliestireno extruido de alta calidad y resistencia a compresión para poder ser utilizado en las cubiertas transitables. Esta forma de colocar el aislamiento continuo es una solución muy común en construcciones Passivhaus ya que mejora la hermeticidad de la vivienda.
- Las elevadas pérdidas por renovación de aire.
Se agrega un sistema ventilación con recuperador de calor, con un valor efectivo de recuperación de calor de 87,6%.

Los resultados tras estos análisis fueron sorprendentes y el balance energético entre pérdidas y ganancias estaba mucho más equilibrado. Lo más destacable fue la reducción de las ganancias en cuanto a consumo energético de calefacción anual, que pasó de 89 kWh/(m²a) a 2 kWh/(m²a), una reducción de un 97%.

Esta cuantiosa reducción de demanda de calor se produce, en consecuencia, por el descenso de las pérdidas a través de la envolvente, de las ventanas y de la ventilación.

Tras la obtención de estos resultados, cabe comentar que la obra contaba desde un inicio con un diseño que conseguía beneficiarse al máximo de las mejoras realizadas en la casa ya que:

- Cuenta con una buena orientación
- Todas las habitaciones de la casa reciben radiación solar
- El estrato elevado se beneficia de grandes huecos al sur y más reducidos al norte, además de contar con una fachada ventilada con acabado blanco para evitar el sobrecalentamiento.

- El estrato semienterrado, por un lado se resguarda de los agentes climáticos y el doble cerramiento protege la envolvente de infiltraciones del terreno, mientras que se sigue beneficiando de la luz natural con ventanas colocadas estratégicamente para poder beneficiarse de ambos principios.

Es decir, a pesar de que todas estas ideas no consigan los beneficios que podrían llegar a suponer debido a que carece de las tecnologías constructivas que se presentan en la actualidad, eran unas ideas muy innovadoras para la época y, definitivamente, el comportamiento térmico de la casa estuvo presente durante el proceso de proyectación de la construcción de la Casa Domínguez.

En conclusión, podemos afirmar tras los resultados obtenidos, que la metodología de estudio energético Passivhaus permite realizar un análisis detallado y coherente con la realidad, del comportamiento energético de una vivienda existente.

07.1 Cumplimiento de objetivos

PRINCIPAL

- Realizar un análisis de la Casa Domínguez de Alejandro de la Sota desde la perspectiva Passivhaus: Se cumple con el objetivo obteniendo unos resultados coherentes que nos ayudaron a entender el comportamiento térmico de la vivienda como por ejemplo, interpretar los puntos débiles de la construcción para poder optimizarla.

ESPECÍFICOS

- Interpretar la obra escrita de Sota con el fin de sacar conclusiones acerca de su posible relación con la sostenibilidad: A pesar de que no exista en su obra escrita ninguna mención directa acerca de temas de sostenibilidad, sus ideas en cuanto a servirnos de las tecnologías para suplir las necesidades de la sociedad y su metodología de incorporar el pensamiento constructivo de forma previa a la resolución de los proyectos, son ideas que concuerdan y van en sintonía con el discurso sostenible actual.
- Comprender la idea y construcción de la Casa Domínguez y analizar si fue construida con algún criterio sostenible: A pesar del deficiente balance

energético, la vivienda a nivel teórico, contiene mucho pensamiento acerca del comportamiento térmico de la misma. Grandes ventanas elevadas y orientadas al sur, radiación solar en todas las estancias de la casa, selección de sistemas constructivos diferentes según su necesidad: de protección en la zona enterrada y nutrición de ganancias solares en la zona elevada.. sin estas consideraciones, seguramente, no se habría llegado a poder certificar la vivienda tras realizar las optimizaciones.

- **Dominio de la metodología de certificación del estándar Passivhaus:**
Como punto de partida previo a enfrentarse a la práctica del método, se comienza por estudiar en qué consiste su metodología de trabajo y la fiabilidad del mismo, ya que se presentaba completamente desconocido al inicio del trabajo.
- **Identificar los datos necesarios para obtener el balance energético de dicha tecnología.** Se comprende que, es un programa con mucho alcance de precisión y que hay muchos parámetros influyen en el balance energético final, por lo que, cuanto más información aportes al programa, más precisos se van volviendo los resultados. Los datos identificados se consideran suficientes para poder elaborar dicho balance, siendo conscientes del alcance que tiene este trabajo de investigación.
- **Obtener el balance energético de la Casa Domínguez.** Tras acabar de comprender y recabar la totalidad de información a insertar en el programa y resolver todos los errores que el mismo aporte de datos genera, se consigue finalmente obtener los resultados con el balance energético de la vivienda.
- **Extraer las correspondientes conclusiones de dicho análisis.** Las principales conclusiones fueron que, a pesar del buen diseño del proyecto en cuanto a orientación y posibles ganancias solares, las pérdidas eran tan grandes que provocaban una elevadísima demanda de calefacción.
- **Realizar ajustes en la construcción de la vivienda de cara a mejorar su balance energético.** Los tres elementos que más pérdidas producían eran: las ventanas, los altos valores de transmitancia de los elementos constructivos y la ventilación, por lo que se optimizan estos tres parámetros con tecnologías certificadas por el Passivhaus Institut y finalmente, los resultados resultaron ser tan buenos, que hasta cumplía con los parámetros de certificación.

08. Bibliografía

IDAE, Secretaría General, Departamento de Planificación y Estudios, "Análisis del consumo energético del sector residencial en España. Informe final." Ministerio de transición ecológica. 16 de julio de 2011.

"La sostenibilidad en la arquitectura industrializada: cerrando el ciclo de los materiales". 2010. *Informes de la Construcción* 62, n.º 517 (marzo).

Libro de la Energía en España. 2018. Madrid: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

Delle Femmine, Laura. 2016. "¿Cuánto contamina tu casa?" *El País*, 26 de noviembre de 2016.

Foster, Norman. 2003. "Arquitectura y sostenibilidad". *Tectónica* 31.

Nóvoa Olmedo, Idelfonso. 2020. "Aplicación del estándar Passivhaus a dos edificaciones existentes diseñadas por Alvar Aalto". Trabajo fin de master, Universidad de la Coruña.

Máster Universitario en edificación sostenible. 2020. *Metodologías de certificación de sostenibilidad en la edificación*. Apuntes, Universidad de la Coruña.

Instituto nacional de estadística (INE). 2013. "Censos de Población y Viviendas 2011 Edificios y viviendas. Datos provisionales". 18 de abril de 2013.

Cheda, José Benito Rodríguez. 1994. *Alejandro de la Sota: Construcción, idea y arquitectura*. Santiago de Compostela: COAG.

Sota, Alejandro de la. 2002. *Alejandro de la Sota: Escritos, conversaciones, conferencias*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili.

Rodríguez Cheda, José Benito y Víctor Corostola González-Fonticoba. s. f. "El proceso creativo en Alejandro de la Sota: el Método Lógico". A Coruña

de la Sota, Alejandro. 1989. *Alejandro de la Sota. Architect*. Madrid: Pronaos.

"Casa Domínguez, en «La Caeyra» Pontevedra". 1981. *Revista Arquitectura* enero-febrero (228): 58-64.

Cabeza, González Manuel. 2005. "Criterios Éticos en la Arquitectura Moderna Española. ALEJANDRO DE LA SOTA - FCO JAVIER SÁENZ DE OIZA". TFG, Universitat Politècnica de València.

García Hípola, Mayka. 2020. "Arquitectura en el campo expandido. El concepto de Paisaje en los escritos y en la obra de Alejandro de la Sota". *ACE Architecture, City and Environment* 15, n.º 45 (octubre).

Pascual Rubio, Ana. 2004. "Alejandro de la Sota: hacia una industrialización de la arquitectura". TFG, Universidad Politécnica de Valencia.

Amado Lorenzo, Antonio. 2019. "Alejandro de la sota. pensar la arquitectura, dibujar el pensamiento". *Revista EGA*.

Díaz Camacho, Miguel Ángel. 2012. "La Casa Domínguez, Alejandro de la Sota: Construir-Habitar". Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid.

CTE - Código técnico de la edificación. 2019. *Documento Básico HE Ahorro de energía*.

CTE - Código Técnico de la Edificación. 2014. *Documento de Apoyo al Documento Básico DB-HE Ahorro de energía*. DA DB-HE / 3 Puentes térmicos.

de la Sota, Alejandro. 1981. "Edificio de Correos y Telecomunicaciones, León". *Arquitectura*, n.º 33, 52.

S. Agúndez, V. Ferández, J. Guerrero. s. f. "Proyectos de estructuras". Universidade da Coruña, 2008-09.

Ferrero Fernández, Victor. s. f. "Edificación y clima datos climáticos, lugar y normativa". TFG, Universidade da Coruña.

Webgrafía

<https://www.ine.es/prensa/np775.pdf>

<http://archivo.alejandrodelaSota.org/es/>

<http://iiala1011enviado019.blogspot.com/2011/02/>

<https://www.miteco.gob.es/es/>

<https://energia.gob.es/balances/Balances/LibrosEnergia/Libro-Energia-2018.pdf>

<http://www.plataforma-pep.org/estandar/como-funciona>

<https://passipedia.org/> (alguien del instituto te tiene que dar acceso)

<http://cte-web.iccl.es/materiales.php?o=14>

<https://database.passivehouse.com/en/components/>

<https://passivehouse.com/>

https://passiv.de/downloads/03_certification_criteria_construction_systems_en.pdf

<https://calumenlive.com/es/configure>

<https://es.saint-gobain-building-glass.com/es>

https://www.convexsl.com/wp-content/uploads/2021/05/Catalogo_Claraboyas_Convex_2021.pdf

<https://product-selection.grundfos.com/es/products/up-ups-series-100/up-ups/ups-25-50-180-96281432?tab=variant-specifications>

<https://www.mundopaves.es/paves-cuadrado-neutro-novo/844-transparente-neutro-190x190x80mm.html>

Licencias de programas

Este trabajo de investigación se realizó usando los siguientes programas:

SketchUp Make 2017, versión gratuita. Enlace descarga:

<https://www.sketchup.com/node/1156>

Microsoft Excel con licencia estudiantil por la Universidad de A Coruña. Enlace de descarga: <https://www.microsoft.com/es-es/education/products/office>

PHPP 9.6a, herramienta que funciona con Microsoft Excel. Se utilizó una licencia educacional proporcionada temporalmente por el Passivhaus Institut para la realización del trabajo. Enlace descarga:

https://database.passivehouse.com/es/download/download_page

DesignPH 2.0.09 plugin para Sketchup. Se utilizó una licencia educacional proporcionada temporalmente por el Passivhaus Institut para la realización del trabajo. Enlace descarga:

https://database.passivehouse.com/es/download/download_page

Relación de Imágenes

- Fig 0. Portada. Bocetos de la Casa Domínguez de Alejandro de la Sota. Fuente: Fundación Alejandro de la Sota
- Fig 00. Índices. Bocetos de la Casa Domínguez de Alejandro de la Sota. Fuente: Fundación Alejandro de la Sota
- Fig 1 y 2: Consumo de energía por sectores 1990-2018. Fuente: Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico.
- Fig 3: Tendencia del crecimiento de consumo de energía. Fuente: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía
- Fig 4: Primer edificio de viviendas construido por Passivhaus Institute. Fuente: Passivhaus Institute
- Fig 5: Logo del Instituto Passivhaus. Fuente: Passivhaus Institute.
- Fig 6: Los 5 principios de la certificación Passivhaus. Fuente: Passivhaus Institute.
- Fig 7: Alejandro con sus muebles. Fuente: Fundación Alejandro de la Sota
- Fig 8. Localización de Pontevedra. Mapa de España. Fuente: La Gistería, con edición propia
- Fig 9. Ortofotografía Pontevedra. Fuente: Google Earth, edición propia.
- Fig 10. Vistas desde la Casa Domínguez a la ciudad de Pontevedra. Fuente: Google Earth, edición propia
- Fig 11: Alejandro con sus muebles. Fuente: Fundación Alejandro de la Sota
- Fig 12: Casa Domínguez. Fuente: Fundación Alejandro de la Sota
- Fig 13: Casa Domínguez. Fuente: Fundación Alejandro de la Sota
- Fig 14 Planta cubiertas. Fuente: S. Agúndez, V. Ferández, J. Guerrero, Proyectos de estructuras, ETSAC 2008-09.
- Fig 15 Planta baja. Fuente: S. Agúndez, V. Ferández, J. Guerrero, Proyectos de estructuras, ETSAC 2008-09.
- Fig 16 Planta primera. Fuente: S. Agúndez, V. Ferández, J. Guerrero, Proyectos de estructuras, ETSAC 2008-09.
- Fig 17 Planta -1, semienterrada. Fuente: S. Agúndez, V. Ferández, J. Guerrero, Proyectos de estructuras, ETSAC 2008-09.
- Fig 18 Planta -2, sótano. Fuente: S. Agúndez, V. Ferández, J. Guerrero, Proyectos de estructuras, ETSAC 2008-09.
- Fig 19 Sección longitudinal. Fuente: S. Agúndez, V. Ferández, J. Guerrero, Proyectos de estructuras, ETSAC 2008-09.
- Fig 20: Planta, cuadros y detalles de cimentación. Autor: Empresa Odein, Fundación Alejandro de la Sota
- Fig 21. Detalle pavimentos y jardinera con plaqueta de Gres. Autor: Fundación Alejandro de la Sota
- Fig 22. Foto encuentro muro de gres con cubierta vegetal. Autor: Fundación Alejandro de la Sota.
- Fig 23. Sección constructiva del estrato inferior. Autor: Autoría propia
- Fig 24. Detalle constructivo encuentro pilar con forjado estrato superior. Autor: ADLS, Fundación Alejandro de la Sota
- Fig 25. Núcleo de escalera y ascensor de acceso a la vivienda. Autor: Paula Fernández Diz
- Fig 26. Detalles constructivos de unión entre carpintería y chapas de acero. Autor: ADLS, Fundación Alejandro de la Sota.
- Fig 27. Detalle constructivo del encuentro superior entre forjado y jardinera de la cubierta. Autor: ADLS, Fundación Alejandro de la Sota.
- Fig 28. Detalle jardinera perimetral cubierta transitable.
Autor: Paula Fernández Diz
- Fig 29. Sección constructiva estrato superior. Autor: Autoría propia
- Fig 30. Boceto de la parcela con cotas y sombreados. Autor: autoría propia
- Fig 31 y 32 Modelo 3d de la Casa Domínguez. Autor: autoría propia
- Fig 33. Árbol Plátano de sombra en la Casa Domínguez. Autor: Paula Diz
- Fig 34 y 35. Delimitación de la envolvente térmica. Autor secciones: S. Agúndez, V. Ferández, J. Guerrero, Proyectos de estructuras, ETSAC 2008-09, edición propia.
- Fig 36. Modelo 3d con su clasificación de superficies. Autor: Autoría propia
- Fig 37. Clasificación de las superficies de referencia energética. Autor: Manual PHPP. Passivhaus Institute.
- Fig 38. Clasificación de las superficies de referencia energética. Autor: Captura de Sketchup con edición propia.
- Fig 39 y 40. Modelo 3d en sketchup, Plátano con y sin hojas. Autor: Autoría propia
- Fig 41. Fórmula de cálculo de la transmitancia térmica. Autor: Manual PHPP
- Fig 42. Valores de las resistencias superficiales según las condiciones de contorno. Autor: Passivpedia
- Fig 43, detalle constructivo de la cubierta del estrato superior. Autor: autoría propia
- Fig 44, detalle constructivo del cerramiento del estrato superior. Autor: autoría propia
- Fig 45, detalle constructivo del suelo del estrato superior. Autor: autoría propia
- Fig 46, arriba. Detalle constructivo de la cubierta de gres del estrato inferior. Autor: autoría propia
- Fig 46, debajo. Detalle constructivo de la cubierta vegetal del estrato inferior. Autor: autoría propia
- Fig 47, Detalle constructivo del cerramiento del estrato inferior. Autor: autoría propia
- Fig 48. Detalle constructivo del suelo del estrato inferior. Autor: autoría propia
- Fig 50 izquierda: puerta metálica de entrada en la planta de acceso
- Fig 51 derecha: Puerta metálica de acceso al estrato semienterrado. Autor: Autoría propia

Fig 52 derecha: Ficha técnica de puerta metálica Autor: catálogo Leroy Merlin

Fig 53. Tabla resumen de valores-U . Autor: Captura de PHPP elaboración propia

Fig 54. Ventanas de la Casa Domínguez. Autor: autoría propia

Fig 55. Aproximación al acristalamiento original de la Casa Domínguez con la herramienta CalumenLive de la compañía Saint-Gobain.

Fig 56. Cúpulas bivalvas de la Casa Domínguez. Autor: Autoría propia

Fig 57. izquierda. Ficha técnica del catálogo comercial de la empresa Convex. Autor: Convex SL

Fig 58. derecha Detalle del catálogo comercial de la empresa Convex. Autor: Convex SL

Fig 59. Composición del cerramiento de pavés. Elaboración propia

Fig 60. arriba. Ficha técnica de pavés ondulado transparente neutro novo. Autor: Mundopavés SL

Fig 61. Resumen datos acristalamientos y marcos en PHPP. Autor: Elaboración propia

Fig 62. Detalles encuentros en cubierta y valores Ψ . Fuente: CTE- DA DB-HE. p. 27

Fig 63. Detalle encuentro en esquina y valores Ψ . Fuente: CTE- DA DB-HE. p. 29

Fig 64. Detalle encuentro fachada y forjado y valores Ψ . Fuente: CTE- DA DB-HE. p. 32

Fig 65. Detalle encuentro en cubierta y valores Ψ . Fuente: CTE- DA DB-HE. p. 28

Fig 66. Detalle encuentro en esquina y valores Ψ . Fuente: CTE- DA DB-HE. p. 29

Fig 67. Detalle encuentro en esquina y valores Ψ . Fuente: CTE- DA DB-HE. p. 29

Fig 68 Detalle encuentro cerramiento-solera y valores Ψ . Fuente: CTE- DA DB-HE. p. 32

Fig 69 Detalle encuentro cerramiento-solera y valores Ψ . Fuente: CTE- DA DB-HE. p. 37

Fig 70. Cuadro de clasificación de terrenos del manual PHPP. Autor: Passivhaus Institut

Fig 71.. Captura de pantalla de la hoja-TERRENO en PHPP. Autor: Elaboración propia

Fig 72. Captura de pantalla de los factores de reducción en PHPP. Autor: Elaboración propia

Fig 73. Detalle persianas venecianas de la casa Domínguez. Autor: Elaboración propia

Fig 74. Captura de pantalla de los factores de reducción en las ventanas PHPP. Autor: Elaboración propia

Fig 75. Captura de pantalla de la hoja ventilación en PHPP. Autor: Elaboración propia

Fig 76 y 77 Aire acondicionado mini-split y datos técnicos. Autor: Elaboración propia

Fig 78 Captura PHPP hoja aparatos de refrigeración. Autor: Elaboración propia

Fig 79 Captura PHPP con los datos de refrigeración en la hoja verano. Autor: Elaboración propia

Fig 80 izquierda Caldera de Gasoil de 1976. Autor: Elaboración propia

Fig 81 medio Datos de la aldera de Gasoil de 1976. Autor: Elaboración propia

Fig 82 Bomba de calor con datos técnicos . Autor: Elaboración propia

Fig 83 arriba. Captura de la hoja "Caldera" del PHPP. Autor: Elaboración propia

Fig 84 Captura de la hoja "electricidad" del PHPP. Autor: Elaboración propia

Fig 85. Gráfico de la relación entre pérdidas y ganancias por ventanas en PHPP. Autor: Elaboración propia

Fig 86. Valores mensuales de calefacción anual en PHPP. Autor: Elaboración propia

Fig 87. Gráfico mensual de relación entre demanda de calefacción y ganancias solares en PHPP. Autor: Elaboración propia

Fig 88. Gráfico mensual de relación entre demanda de calefacción y ganancias solares en PHPP. Autor: Elaboración propia

Fig 89. Hoja de comprobación en PHPP. Autor: Elaboración propia

Fig 90. Soluciones constructivas del estándar Passivhaus. Autor: Manual PHPP p.42 y 45

Fig 91. Sección constructiva del estrato superior tras la optimización. Autor: Elaboración propia

Fig 92. Soluciones constructivas del estándar Passivhaus. Autor: Manual PHPP p.42 y 45

Fig 93. Sección constructiva del estrato inferior tras la optimización. Autor: Elaboración propia

Fig 94. Datos de la hoja - ventilación de PHPP. Autor: Autoría propia

Fig 95. Hoja caldera de PHPP . Autor: elaboración propia

Fig 96. Tabla resumen de valores-U modificados . Autor: Captura de PHPP elaboración propia

Fig 97. Tabla resumen de valores-U originales . Autor: Captura de PHPP elaboración propia

Fig 98. Gráfico de pérdidas-ganancias de las ventanas originales. Autor:Elaboración propia

Fig 99. Gráfico de pérdidas-ganancias de las ventanas tras la optimización. Autor:Elaboración propia

Fig 100. Gráfico de pérdidas-ganancias de las ventanas originales. Autor:Elaboración propia

Fig 101 ..Gráfico de pérdidas-ganancias de las ventanas modificadas. Autor:Elaboración propia

Fig 102. izquierda..Gráfico de relación entre pérdidas-ganancias anuales vivienda original. Autor:Elaboración propia

Fig 103. izquierda..Gráfico de relación entre pérdidas-ganancias anuales tras las modificaciones. Autor:Elaboración propia

Fig 104. Hoja de comprobación en PHPP que muestra la obtención de la certificación. Autor:Elaboración propia

09. Anexos: Entrevista con Doña María del Carmen

Se contó con la gran suerte de poder realizar una entrevista con Doña María del Carmen Lino, propietaria de la casa, prima de Alejandro de la Sota y mujer de Don Enrique Domínguez, del cual proviene el nombre de la vivienda.

La entrevista se centró en las sensaciones térmicas de la casa y alguna pregunta acerca de los elementos de sombreado, abastecimiento de ACS y refrigeración, muchos de estos datos se obvian ya que, en el momento de realizar la entrevista no se sabía si iba a ser posible visitar la vivienda, por lo que vienen mucho más especificados a lo largo del trabajo.

¿Cuáles son sus sensaciones en cuanto a confort térmico de la vivienda?

Tenemos la gran suerte de que la zona de arriba, que es donde hacemos vida durante el día, es mucho más cálida que la parte de abajo, a la que sólo accedemos para dormir y realizar tareas domésticas como poner lavadoras u organizar las habitaciones.

El sol empieza calentando por las mañanas la zona oeste de la casa y tenemos una luz natural durante todo el día en toda la estancia abierta de la zona superior.

Si que es verdad, que cuando bajamos a la zona de las habitaciones, se nota mucho la diferencia de temperatura.

¿En cuanto al núcleo de entrada de la casa, el que tiene cerramiento de cristal de pavés, cual es su sensación?

Es también una zona fresca, no diría que llega a estar fría nunca ya que en Pontevedra no tenemos días tan fríos, pero si se nota una diferencia con la zona de arriba cuando bajas por las escaleras.

¿Cuánto diría que usa la calefacción a lo largo del año?

En el estrato superior, en los días fríos, la enciendo ya en cuanto me levanto para tener la casa un poco caliente, pero en los días que hace sol o "resol" igual no tengo la necesidad de encenderla por ejemplo hasta el mediodía o la tarde, ya que por las zonas sur, este y oeste nos entra mucho calor, pero sólo si hace resol, sino si que la enciendo, ya te digo, igual al mediodía cuando termino de hacer las tareas en la zona de abajo.

¿Y en la zona de abajo, cómo usa la calefacción?

Es una zona, como te dije, a la que sólo bajamos para dormir, así que, lo que suelo hacer es encenderla un poco antes de irnos a la cama para tener las habitaciones calientes al irnos a dormir. Pero sí que es verdad que la diferencia de temperatura es grande, en invierno se nota fresca. Pero a la vez también te digo que puede parecer que no porque las ventanas son más pequeñas y parece que están más escondidas, pero tenemos muchísima luz también en la zona de abajo, por lo que en días de mucho sol, igual tampoco nos hace falta encender mucho la calefacción.

¿Y nota usted sobrecalentamiento en verano?

No, no. Como en una vivienda normal diría yo, tenemos la suerte de que aunque entre mucho sol por las ventanas, podemos abrir las ventanas de un extremo y las del otro, y al ser un espacio tan abierto, corre el aire hasta en los días de mucho calor. (Se refiere a la ventilación cruzada)

En la parte de abajo, en verano es una gozada porque es fresquísima.

¿Usan algún aparato de refrigeración?

Le pedí a Alejandro unos años después de venirnos a vivir aquí, que nos pusiera un aparato de aire, escogimos que nos lo pusiera en la cocina, ya que, como te puedes imaginar, teniendo la muchacha que cocina para 12 personas (se refería a la chica del servicio), tenemos dos cocinas, una de gas más antigua y otra de vitrocerámica, imagínate los 10 hornillos funcionando a la vez el calor que puede llegar a hacer ahí. Además, como te decía, al ser una zona toda abierta, enseguida nos pasa el fresco de la cocina al resto de la estancia, pero no lo encendemos casi nunca, este verano volvimos a estar 12 personas viviendo en la casa ya que vinieron mis nietos y lo encendimos sólo dos días en todo el verano que hizo mucho calor.

En la zona de abajo, no se nota nada el calor por lo que no tenemos la necesidad.

¿En cuánto a elementos de sombreamiento, de qué sistema disponen? Persianas, toldos...

Tenemos unas cortinas de tablillas (refiriéndose a unas persianas venecianas), aún tenemos muchas de las originales que nos puso Alejandro, pero muchas las hemos tenido que cambiar, y debo decirte, que no he vuelto a conseguir unas tan buenas como las que nos puso él.

Si te fijas -decía mostrándome las diferentes venecianas- estas de aquí son las nuevas, por la parte que da al exterior son más blancas, sin embargo, las de Alejandro tenían una lámina como más metálica y nos protegían muchísimo más del sol.

*Este dato resulta muy curioso, ya que el efecto que provocan las venecianas originales es que, al reflejar el sol sobre la superficie metálica, desvía los rayos al exterior. Mientras que las más actuales, contaban con una superficie blanca, color que se usa para reducir el sobrecalentamiento.

¿Diría que la experiencia de vivir en esta casa ha sido buena?

Para mí ha sido una experiencia buenísima, yo no fue mucho lo que le pedí cuando la hizo, sólo que nos hiciera la vida más fácil para convivir con nuestros 9 hijos, le dimos total libertad, pero después de 45 años, sigo siendo feliz viviendo en esta casa.